

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO  
LUTZ SCHOLZ PARA DETERMINAR CAUDALES  
MEDIOS MENSUALES EN LA SUB CUENCA DEL  
RIO QUIROZ”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:**

**Br. HERNAN RAFAEL GAMARRA CHUQUICUSMA**

**PIURA – PERÚ  
2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LUTZ SCHOLZ  
PARA DETERMINAR CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA  
SUB CUENCA DEL RIO QUIROZ”**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA PARA  
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

**ING. WALTER MARIO RAMÍREZ CHACÓN**  
**ASESOR**

**Br. HERNAN RAFAEL GAMARRA CHUQUICUSMA**  
**TESISTA**

**PIURA – PERÚ**

**2018**

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE LA TESIS**

Yo: **Br. HERNAN RAFAEL GAMARRA CHUQUICUSMA**, identificada con DNI N° 72172651, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, de la Facultad de Agronomía y domiciliado en AA.HH Los Almendros Mz.I Lt.12 - Castilla, Provincia de Piura, Departamento de Piura.

Celular: 935976965

Correo: hernan\_1694@hotmail.com

**DECLARO BAJO JURAMENTO:** que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código penal concordante con el Art. 32 de la ley N° 27444, y ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fé de lo cual firmo la presente.

Piura, Mayo del 2018.

.....

DNI N° 72172651



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LUTZ SCHOLZ  
PARA DETERMINAR CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA  
SUB CUENCA DEL RIO QUIROZ”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

**Br. HERNAN RAFAEL GAMARRA CHUQUICUSMA**

**APROBADO POR:**

  
**Dr. MARIO MONTERO TORRES**  
**PRESIDENTE**

  
**Dr. FERNANDO NOÉ CISNEROS**  
**VOCAL**

  
**ING. SANTIAGO SALAS CUADROS**  
**SECRETARIO**

**PIURA – PERÚ**  
**2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
COMISION DE INVESTIGACION AGRICOLA



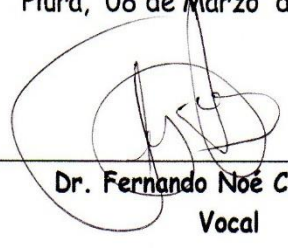
## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS 013-2018-CIAFA-UNP

Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el Trabajo de Tesis denominado "APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO LUTZ SCHOLZ PARA DETERMINAR CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUIROZ", conducido por el BR. HERNAN RAFAEL GAMARRA CHUQUICUSMA, asesorado por el Ing. Walter Ramírez Chacón.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APROBADO, en consecuencia queda en condiciones de ser calificado APTO para gestionar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 08 de Marzo del 2018.

  
Dr. Mario Montero Torres  
Presidente

  
Dr. Fernando Noé Cisneros  
Vocal

  
Ing. Santiago Salas Cuadros  
Secretario

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres, Raúl y Vicky, quienes supieron inculcarme los valores y responsabilidades en los estudios, por sus consejos, su apoyo incondicional, su paciencia y motivación para quienes este trabajo es el reconocimiento a ese esfuerzo y comprensión.

A mis hermanos Joserh y Guadalupe porque siempre puedo contar con ellos.

A mis tíos Olga, Jesús y Loyola por el apoyo que me han brindado en todo momento

A mis amigos Luis Fernando, Jean Paul, Josué Abel, Enrique, Isabel, Lincoln y la Familia López, Guísela, Diana, Tatiana, Hellen, Víctor quienes siempre han estado en los momentos en que los he necesitado y en los que no también.

## **AGRADECIMIENTO**

Los agradecimientos están dirigidos a todas las personas y entidades que hicieron posible la realización de esta investigación, denominada “**APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO LUTZ SCHOLZ PARA DETERMINAR CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUIROZ**”

Al Ing. Nilton Buguña Hernández por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Walter Ramírez Chacón por todo el apoyo brindado en durante el desarrollo de la investigación.

## **INDICE**

<b>CAPITULO 1 : GENERALIDADES</b> .....	1
1.1    INTRODUCCIÓN .....	1
1.2    OBJETIVOS .....	2
1.2.1. Objetivo General .....	2
1.2.2. Objetivo Específicos .....	2
1.3    HIPÓTESIS.....	2
1.4    JUSTIFICACIÓN .....	2
<b>CAPITULO 2 : MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1    ANTECEDENTES .....	4
2.2    BASE TEÓRICA .....	5
2.2.1    Elementos Meteorológicos .....	5
2.2.2    La Atmósfera .....	5
2.2.3    Radiación .....	6
2.2.4    Humedad.....	6
2.2.5    Viento .....	7
2.2.6    Temperatura.....	7
2.2.7    El ciclo hidrológico y sus componentes .....	7
2.2.8    Precipitación .....	9
2.2.9    Intercepción .....	11
2.2.10    Evapotranspiración .....	12
2.2.11    Infiltración .....	12
2.2.12    Almacenamiento.....	13
2.2.13    Escorrentía .....	14
2.2.14    Balance hídrico media de la cuenca .....	15
2.2.15    El ciclo Hidrológico como sistema.....	16



2.2.16	El sistema Hidrológico .....	17
2.2.17	Modelo hidrológico .....	19
2.2.18	Modelos de Precipitación-Descarga .....	20
2.2.19	Modelo propuesto por Lutz Scholz .....	21
2.2.20	Tratamiento de datos hidrometeorológicos .....	23
2.2.21	Análisis de consistencia de la información.....	24
2.2.22	Análisis de saltos .....	26
2.2.23	Completación y/o extensión de datos hidrometeorológicos .....	26
<b>CAPITULO 3 : MATERIALES Y METODOLOGÍA.....</b>		<b>30</b>
3.1	MATERIALES .....	30
3.1.1	<b>Ubicación del área de estudio</b> .....	30
3.1.2	Características de la Cuenca .....	33
3.1.3	Materiales y equipo .....	39
3.2	<b>METODOLOGIA</b> .....	40
3.2.1	Parámetros geomorfológicos de la cuenca .....	40
3.2.2	Determinación de parámetros estadísticos .....	42
3.2.3	Análisis de consistencia de la información hidrométrica y meteorológica.....	44
3.2.4	Análisis visual de hidrogramas.....	45
3.2.5	Análisis de doble masa.....	45
3.2.6	Análisis estadístico.....	46
3.2.7	Precipitación media en la cuenca .....	46
3.2.8	Generación de caudales medios mediante el modelo Lutz Scholz.....	47
<b>CAPITULO 4 :RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>60</b>
4.1.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	60
4.1.1	Parámetros geomorfológicos de la sub cuenca .....	60
4.2	DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....	62

4.3. DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN	
HIDROMETEREOLOGICA .....	63
4.3.1 Del análisis e los caudales del rio Quiroz .....	77
4.3.2 De la precipitación areal media mensual por el polígono de Thiessen .....	78
4.4 DE LA GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES .....	80
4.4.1 Temperatura media mensual en la cuenca.....	80
4.4.2 Evapotranspiración Potencial.....	80
4.4.3 Coeficiente de escurrimiento.....	81
4.4.4 Precipitación efectiva .....	82
4.4.5 Retención de la cuenca.....	83
4.4.6 Coeficiente de agotamiento.....	83
4.4.7 Relación de caudales .....	84
4.4.8 Gasto de la retención .....	84
4.4.9 Abastecimiento de la retención .....	84
4.4.10 Generación de caudales mensuales para un año promedio .....	85
4.5 GENERACIÓN DE CAUDALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS .....	86
4.5.1 Precipitación efectiva de la cuenca .....	87
4.5.2 Números aleatorios.....	87
4.5.3 Descargas medias mensuales generadas .....	88
4.5.4 Test Estadístico .....	93
<b>CAPITULO 5 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>94</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	94
5.2 RECOMENDACIONES .....	95
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1. Estaciones Meteorológicas.....	40
TABLA 4.1 Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 1: Ardilla y Ciruelo.....	73
TABLA 4.2 Análisis estadístico de precipitación total anual de las estaciones del grupo 1: Ardilla y Ciruelo.....	74
TABLA 4.3 Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 2: Sicchez, Ollero y Montero.....	75
TABLA 4.4 Análisis estadístico de precipitación total anual de las estaciones del grupo 2: Sicchez, Ollero y Montero.....	76
TABLA 4.5 Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 3: Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola.....	76
TABLA 4.6 Análisis estadístico de precipitación total anual de las estaciones del grupo 3: Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola.....	77
TABLA 4.7 Precipitación total mensual promedio de las estaciones (1973-1992) .....	79
TABLA 4.8 Precipitación Media Anual – Método de Thiessen.....	80
TABLA 4.9 Resultados de la Evapotranspiración Potencial (mm/mes) .....	81
TABLA 4.10 Resultados del Coeficiente de Escurrimiento – Método L. Turc.....	81
TABLA 4.11 Resultados del Coeficiente de Escurrimiento – Método Empírico.....	82
TABLA 4.12 Precipitación Efectiva (mm).....	82
TABLA 4.13 Gasto de la retención mensual (mm/mes) .....	84

TABLA 4.14 Almacenamiento hídrico durante la época de la lluvia.....	85
TABLA 4.15 Resultados de la generación de caudales mensuales para el año promedio (m <sup>3</sup> /s)	86
.....	
TABLA 4.16 Precipitación efectiva generada (mm/mes) .....	87
TABLA 4.17 Números Aleatorios.....	88
TABLA 4.18 Datos de la variable dependiente e independiente.....	89
TABLA 4.19 Descargas medias mensuales generados (mm/mes) sub cuenca del rio Quiroz.....	91
TABLA 4.20 Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de caudales.....	93

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1. Curva Hipsométrica de la sub cuenca del rio Quiroz.....	62
GRÁFICO 4.2. Curva de frecuencia de altitudes.....	62
GRÁFICO 4.3. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Ardilla- Periodo (1973-1992) .....	66
GRÁFICO 4.4. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Ciruelo- Periodo (1973-1992) .....	67
GRÁFICO 4.5. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Sicchez- Periodo (1973-1992) .....	67
GRÁFICO 4.6. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Ollero- Periodo (1973-1992) .....	68
GRÁFICO 4.7. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Montero- Periodo (1973-1992) .....	68
GRÁFICO 4.8. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Arrendamientos- Periodo (1973-1992) .....	69
GRÁFICO 4.9. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Nangay- Periodo (1973-1992) .....	69
GRÁFICO 4.10. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Ania- Periodo (1973-1992).....	70
GRÁFICO 4.11. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Laguna Seca- Periodo (1973-1992) .....	70
GRÁFICO 4.12. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación San Juan- Periodo (1973-1992) .....	71
GRÁFICO 4.13. Hidrograma de precipitación Total Mensual (mm)-Estación Espíndola- Periodo (1973-1992) .....	71
GRÁFICO 4.14. Diagrama de doble masa de Precipitación Total Anual de las estaciones del Grupo 1: Ardilla y Ciruelo.....	74
GRÁFICO 4.15. Diagrama de doble masa de precipitación Total Anual de las estaciones del Grupo 2: Sicchez, Ollero y Montero.....	75

GRÁFICO 4.15. Diagrama de doble masa de precipitación Total Anual de las estaciones del Grupo 2: Sicchez, Ollero y Montero.....	77
GRÁFICO 4.17. Hidrograma de caudal medio mensual (m3)-Estación de aforo Toma Zamba- Periodo (1973-1992) .....	78
GRÁFICO 4.18 Precipitación total mensual promedio.....	79
GRÁFICO 4.19 Precipitación Efectiva (mm).....	83
GRÁFICO 4.20 Comparación entre caudales generados y caudales aforados.....	92

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Data de precipitaciones totales mensuales.....	98
ANEXO 2 Data para la determinación de la evapotranspiración.....	112
ANEXO 3 Descarga media mensual aforado (m3/s) estacion Toma Zamba.....	117

## **RESUMEN**

El objetivo fundamental del presente estudio de investigación es determinar caudales mensuales de la sub cuenca Quiroz, con el fin de completar la información del plan de aprovechamiento de disponibilidad Hídrica de la Cuenca Chira Piura.

Para ello se empleó una metodología del tipo cuantitativo y predictivo, fundamentado en recolección de datos y utilizando el equipo apropiado, con la finalidad de reunir y examinar toda la información disponible para los fines de la presente tesis.

Este cuenta con dos fases, la primera es la fase de campo que consistió en la recopilación de información de la Sub Cuenca Quiroz, sobre datos meteorológicos, aspectos socio-económicos, culturas y ambientales; existentes en estudios e investigaciones anteriores. Luego se procedió a procesar los datos obtenidos.

Palabras claves: Disponibilidad Hídrica, Datos meteorológicos, Sub cuenca Quiroz.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research study is to determine the monthly flows of the Quiroz sub-basin, in order to complete the information on the water availability plan of the Chira Piura basin.

To this end, a quantitative and predictive methodology was used, based on the collection of data and the use of the appropriate equipment, in order to gather and examine all the information available for the purposes of this thesis.

This has two phases, the first is the field phase that consisted in the collection of information from the Quiroz Sub-basin, on meteorological data, socioeconomic, cultural and environmental aspects; existing studies and research. Then we proceeded to process the data obtained.

**Keywords:** Water availability, Meteorological data, Quiroz sub-basin.





# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Para determinar los caudales de una cuenca, cuando no se dispone de información se utiliza diversos métodos y procedimientos que a partir de los elementos o variables meteorológicos (la velocidad del viento, temperatura, etc.), y los elementos geográficos (la forma de la cuenca, fisiografía, vegetación, etc.), todos ellos permiten generar caudales a nivel mensual.

La sub cuenca del rio Quiroz, no presentan datos que permitan cuantificar su aporte, no se cuenta con investigaciones en la zona de estudio, por ello se buscará realizar el estudio que nos permita obtener datos e implementar información para diferentes usos (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.).

Para ello se empleó el Método de Lutz Scholz el cual es un modelo hidrológico combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico – Modelo determinístico) y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal. Fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la Republica de Alemania a través del Plan Meris II.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Determinar caudales medios mensuales en la sub cuenca Quiroz, aplicando el método de Lutz Scholz para completar la información del Plan de Aprovechamiento de Disponibilidad Hídrica de Cuenca Chira Piura del Consejo de Recursos Hídricos.

### **1.2.2. Objetivo Específicos**

- Generar caudales para el año promedio por el método Lutz Scholz.
- Generar y validar los caudales medios mensuales para la sub cuenca para periodo extendido.
- Determinar el grado de aceptabilidad del método de Lutz Scholz aplicado a la sub cuenca Quiroz

## **1.3 HIPÓTESIS**

Con la aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz se pueden obtener los caudales medios mensuales de la sub cuenca del Rio Quiroz.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

En nuestra región, uno de los problemas hidrológicos que se presenta es la escasez de datos necesarios para generar proyectos de diseño o planificación de cuidado de cauce, prevención, abastecimiento de agua para diferentes usos, por tanto, es necesario aplicar un modelo que sirva para generar información de este tipo.

A pesar de que existen varios modelos hidrológicos, para la generación de descargas medias mensuales, la mayoría de los modelos se basan en información hidrometeorológica diaria como es el método de Temez, y es el limitante para la aplicación en nuestro medio, y pocos modelos a nivel mensual y uno de ellos es el modelo hidrológico Lutz Scholz.

En los estudios realizados en la sierra sur del Perú en los departamentos de Cajamarca, Huancavelica, Cuzco entre los años 1970 y 1980 se hizo una calibración promedio de un 98% a las descargas medias mensuales, aplicando el modelo hidrológico Lutz Scholz; al realizar las comparaciones se vieron que este modelo es el que más se aproxima a los caudales históricos aforados, dando validez a este modelo, es por lo que tomamos al modelo hidrológico de Lutz Scholz como el modelo que más se ajusta para el cálculo de descargas medias mensuales, siendo ésta una fuente para la aplicación de este método para Piura.

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, es un modelo que permite la determinación de caudales medios mensuales para un año promedio y la extensión de caudales para periodos extendidos; y cuando no se cuenta con información completa es factible que se aplique este método.

Mediante este estudio a realizar a la Sub cuenca del río Quiroz, se determinarán las características geomorfológicas como área, pendiente, longitud, etc., así también el análisis de los datos de las estaciones meteorológicas para encontrar la oferta hídrica.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

Existen un singular número de estudios realizados, aplicando el modelo matemático del experto de Lutz Scholz, para generación de descargas medias en diferentes cuencas de la sierra norte y central del Perú, con fines de aprovechamiento hídrico y la planificación de pequeños y mediados proyectos de riegos, a continuación se mencionan algunos trabajos realizados aplicando el modelo Lutz Scholz, el cual se tomó como modelo base para la aplicación del modelo en la sub cuenca del Rio Quiroz obteniéndose resultados que permitan considerarse casi certeros.

En el estudio Generación de descargas mensuales en las sub cuencas del Rio Santa - 2005, “Ing. Niciano Edilberto Tarazona Santos” Quien realizó el trabajo de investigación para la Corporación Peruana del Santa y Electro Perú Huaraz, teniendo más de 50 años de recopilación de la información hidrometeorológica; logro determinar un coeficiente de correlación respecto a los datos registrados de un 98%, indicando los meses más lluviosos son enero, febrero, marzo; y los más secos son junio, julio y agosto.

En el Estudio hidrológico de la cuenca Parccora, Distrito de Santillana, Provincia de Huanta, Ayacucho – 2010, “Doc. Waldo Lavado Casimiro”, Quien realizó el trabajo tomando como información meteorológica los registros del Proyecto Cachi, Instalada en la Provincia de Huamanga y en cada uno de las sub estaciones.

Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa – Juliaca, Puno – 2007, quién hizo el trabajo por Intermedio de la INRENA y La Intendencia de los Recursos hídricos, Administración de Técnica del Distrito de riego Juliaca; se realizó este trabajo con fines de aprovechamiento hídrico en las cuencas alto andinas de la región Puno.

En el estudio volumen de agua aprovechable en la microcuenca del río tres ríos, usando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz Validado, para los años hidrológicos 2008 – 2012, el Ing. Cesar Nixon Terán Guevara logro obtener un grado de calibración de 99% e indico que existe un buen ajuste para los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, mayo, junio, julio y agosto; existiendo menor ajuste en los meses de febrero, marzo y abril.

## **2.2 BASE TEÓRICA**

### **2.2.1 Elementos Meteorológicos**

Guevara Pérez Edilberto (1991) menciona a la meteorología como ciencia que estudia la atmósfera, trata de establecer la Interrelación que existe entre los parámetros del ciclo hidrológico tales como: viento, precipitación, temperatura, presión y humedad. Como una rama de la física, se refiere a la atmósfera como una mezcla de gases cuyas interrelaciones entre la presión, temperatura y volumen se rigen por las leyes de la termodinámica. También involucra consideraciones geográficas debido a que los factores como latitud, longitud, topografía y la ubicación de las masas de agua y tierra, afectan al carácter y distribución de las condiciones meteorológicas sobre la superficie terrestre. Todos estos factores determinan la magnitud de la precipitación y la respuesta de la cuenca, así como su distribución en el espacio y en el tiempo.

### **2.2.2 La Atmósfera**

Mejía M. Abel (2001) describe en forma general que la atmósfera está formada por una capa de 100 Km. de espesor sobre la tierra. En su estructura se puede notar que la presión y la densidad del aire decrecen rápidas y continuamente con el incremento de la altitud. La temperatura varía de una forma regional y característica y su perfil define las diferentes capas de la atmósfera. Después de un decremento general de la temperatura a través de la tropósfera el incremento de la temperatura desde los 20 Km. hasta los 50 Km. de altitud es causado por la capa de ozono, que absorbe la radiación solar de onda corta liberando algo de energía en forma de calor.

La atmósfera, capa gaseosa que envuelve la tierra, está constituida por una mezcla compleja de gases que varía en función del tiempo, de la localización geográfica, de la altitud y de las estaciones del año. De una manera simple se puede considerar el aire natural como constituido por tres partes principales: por el aire seco, por el vapor de agua y por las partículas sólidas en suspensión.

### 2.2.3 Radiación

Richard G. Allen (2006) menciona que la radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones.

La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación. Cuando se determina el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración se debe también considerar que no toda la energía disponible se utiliza para evaporar el agua. Parte de la energía solar se utiliza también para calentar la atmósfera y el suelo.

### 2.2.4 Humedad

Guevara Pérez Edilberto (1991) La fracción de la atmósfera conformada por el vapor de agua es muy pequeña comparada con los otros componentes, pero es extremadamente importante ya que determina las condiciones meteorológicas prevalecientes (La precipitación se deriva de esta agua atmosférica).

El contenido de humedad del aire es también un factor significativo en el proceso de evaporación local, Por lo tanto, es necesario que el hidrólogo esté al corriente de lo que ocurre en la atmósfera y comprender los efectos termodinámicos de la humedad atmosférica.

En la mayoría de los casos de interés práctico, el vapor de agua se rige por la ley de los gases, la humedad atmosférica proviene de la evaporación y transpiración y el vapor de agua es transportado sobre los continentes mediante los sistemas de circulación atmosférica.

#### **2.2.5 Viento**

Guevara Pérez Edilberto (1991) El viento se origina por las diferencias de presiones y temperaturas y se manifiesta como el movimiento de las masas de aire. Es un factor muy importante que se relaciona con otros parámetros hidrometeorológicos tal como: la evaporación, la precipitación y los fenómenos de difusión del vapor de agua, del calor y elementos contaminantes.

#### **2.2.6 Temperatura**

Aliaga Araujo, Vito (1985) nos indica que la temperatura es una consecuencia directa de la insolación y de la radiación, su determinación es fundamental para el cálculo de la evaporación. La temperatura es considerada como el factor determinante y decisivo de las diversas etapas del ciclo hidrológico y principalmente en el estudio de la evaporación.

#### **2.2.7 El ciclo hidrológico y sus componentes**

Aliaga Araujo, Vito (1985) Si se considera el sistema planetario tierra se observa sus tres estados gaseosos, líquido y sólido que se encuentra en la atmósfera, en la hidrósfera y en la litósfera.

En este sentido se entiende por el ciclo del agua, al movimiento que éste realiza con o sin cambio en su estado y conserva la masa total.

Del esquema global interesa analizar lo que sucede en la parte continental y dentro de ésta es necesario fijar sistemas de referencia (espacios o áreas) en los cuales se intentará explicar y, posteriormente relacionar y calcular los componentes del ciclo hidrológico.



Estos sistemas de referencia son por lo general las cuencas hidrográficas término tan conocido como discutido. La parte continental del ciclo del agua referido a una cuenca, ha recibido diferentes representaciones las cuales se han agrupado en tres esquemas tipos que son:

#### **2.2.7.1 Esquema Tipo Físico**

Trata de considerar una porción de terreno natural donde se indica la existencia del relieve, cursos de agua, coberturas del suelo, perfil de suelos y acuíferos. Sobre este sistema actúa el estado atmosférico y como condición de borde generalmente se Presentan las salidas a los océanos o a otros cursos de agua.

#### **2.2.7.2 Esquema de tipo Geométrico**

Se basa en la repartición del agua en los distintos caminos que puede seguir a partir de una figura geométrica determinada (generalmente un círculo), asignando una porción de esta figura a cada camino.

#### **2.2.7.3 Esquema de tipo Diagrama de Block**

Es el más reciente y surgió como un elemento de base para el planteo de modelos de transformación lluvia-escorrentía; el esquema es sencillo, parte de los siguientes supuestos:

- ❖ El sistema es una cuenca con sus características de vegetación, suelos y subsuelos.
- ❖ Sobre esta cuenca actúan los fenómenos atmosféricos representados por el aporte de las precipitaciones y por la demanda de la atmósfera.
- ❖ El sistema físico reacciona ante la acción de la precipitación produciendo cambios internos representados por distintas formas de almacenamiento y transporte de agua, dando como resultado salidas del sistema representados por el escurrimiento y pérdidas hacia la atmósfera.

Sobre la cuenca pueden actuar aportes de otras cuencas y tener a su vez pérdidas por profundidad o hacia otras áreas, en este caso, es un sistema hidrológicamente no aislado.

### **2.2.8 Precipitación**

Guevara Pérez Edilberto (1991) menciona que la precipitación es el principal vector de entrada del ciclo hidrológico y se refiere a la cantidad total de agua que cae sobre la superficie terrestre. Se presenta en forma líquida (lluvia, niebla, rocío), o sólida (nieve, granizo, escarcha). Se deriva del vapor de agua atmosférica; sus características están sometidas a la influencia de otros factores climáticos tales como: viento, temperatura y presión atmosférica. La humedad atmosférica es una condición necesaria pero no suficiente para la formación de la precipitación. Primeramente, se requiere del proceso de condensación y luego otro proceso que cree las gotas de agua que deben precipitar.

Mejía M. Abel (2001) La precipitación es una variable hidrológica que manifiesta claramente su carácter aleatorio, variando drásticamente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). La unidad de medida es el milímetro de lluvia que se define como la cantidad de precipitación correspondiente a un volumen de un litro por metro cuadrado de superficie conocido como lámina de agua o altura de lluvia depositado sobre la superficie.

Desde el punto de vista de la ingeniería, son necesarios tres parámetros para definir completamente una precipitación: su duración, su intensidad y su frecuencia. La duración  $D$ , es el tiempo transcurrido entre el inicio y fin de la lluvia expresada en horas o minutos. La intensidad  $I$ , está dado por la cantidad total de lluvia o lámina de agua dividida por la duración (cantidad de lluvia por unidad de tiempo), se mide en mm/h o mm/min. La Frecuencia  $F$ , es llamado periodo de recurrencia o de retorno ( $T$ ) el periodo en años en el que una lluvia puede volver a ocurrir.

#### **2.2.8.1 Precipitación media sobre una zona**

Villón Bejar Máximo (2002); Para calcular la precipitación media de una tormenta o precipitación media anual, existen tres métodos de uso generalizado.

##### **2.2.8.1.1 Promedio Aritmético**

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis.

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Donde:

$P_{med}$  = Precipitación media de la zona o cuenca

$P_i$  = Precipitación de la estación  $i$ .

$n$  = Numero de estación tomadas en cuenta.

Villón Bejar Máximo (2002); La precisión de este criterio depende de la cantidad de estaciones disponibles, de la forma como están localizadas, y de la distribución de la lluvia estudiada, es el método más sencillo, pero solo da buenos resultados cuando el número de pluviométricos es grande

#### 2.2.8.1.2 Polígono de Thiessen

Este método consiste en lo siguiente:

- ❖ Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
- ❖ Trazar líneas rectas que bisecan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
- ❖ Cada estación pluviométrica quedara rodeada por las líneas rectas del paso anterior, que forman los llamados Polígonos de Thiessen. Y en parte por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los Polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.
- ❖ La lluvia media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * P_i$$

Donde:

$P_{med}$  = Precipitación media

$A_t$  = Área total de la cuenca

$A_i$  = Área de influencia parcial del Polígono de Thiessen correspondiente a la estación i

$P_i$  = Precipitación de la estación i.

$n$  = Numero de estación tomadas en cuenta.

### 2.2.8.1.3 Isoyetas

Para este método, se necesita un plano de Isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las Isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto, pero requiere de un criterio para trazar el plano de Isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las Isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona de estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de Isoyetas.

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} * A_i$$

Donde:

$P_{med}$  = Precipitación media

$A_t$  = Área total de la cuenca

$A_i$  = Área parcial comprendida entre las isoyetas  $P_{i-1} + P_i$

$P_i$  = Altura de precipitación de las isoyetas i.

$n$  = Numero de áreas parciales.

### 2.2.9 Intercepción

Ibarra Imata, Gregorio (1990) Es la precipitación depositada o retenida en la cobertura vegetal, no tiene mayor importancia en las avenidas grandes, sin embargo, debido a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de la lluvia anual. La capacidad de almacenamiento por intercepción es generalmente satisfecha en las primeras horas de la tormenta de manera que un

alto porcentaje de lluvia durante las tormentas de corta duración es interceptado. Después que la vegetación está saturada y el almacenamiento por interceptación se completa, la cantidad de agua que alcanza el suelo es igual a la lluvia menos la evaporación a partir de la vegetación.

La capacidad de almacenamiento por interceptación es removida mediante la evapotranspiración (la cual puede ocurrir inclusive durante la lluvia) de manera que después que el almacenaje está lleno existe una interceptación continua igual a la evapotranspiración.

#### **2.2.10 Evapotranspiración**

Guevara Pérez Edilberto (1991) La evaporación es un factor meteorológico muy importante para todos los estudios de recursos hídricos pues afecta la producción hídrica de las cuencas, la capacidad de los embalses, la dimensión de las plantas de bombeo, el uso consuntivo de los cultivos y la producción de las reservas subterráneas.

Chereque Morán Wendor (1991) La evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico, hay evaporación en todo momento y desde toda superficie húmeda. Considerada como un fenómeno puramente físico la evaporación es el pasaje del agua al estado de vapor, sin embargo, hay otra evaporación, la provocada por la actividad de las plantas y recibe el nombre de transpiración.

De modo general, la evaporación se puede estudiar por separado a partir de las superficies libres del agua (lagos, embalses, ríos, charcas), a partir de las nieves, a partir del suelo y a partir de las plantas (transpiración). También se puede estudiar la evaporación total en una cuenca sin tomar en cuenta las formas particulares que adopta, a esta evaporación total se llama evapotranspiración la cual resulta de la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación.

#### **2.2.11 Infiltración**

Chereque Morán Wendor (1991) La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra, la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos (la infiltración y la percolación) están íntimamente ligados pues la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en exceso de la escorrentía sub superficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente llega a los cursos de agua. El agua del río, en general, puede estar formado de dos partes: Una parte de escorrentía (superficial y sub superficial) que recibe el nombre de escorrentía directa y otra parte de agua subterránea que recibe el nombre de flujo base.

Chow Ven Te (2000) Muestra en forma esquemática los procesos de flujo sub superficial y las zonas en que ellos ocurren. La infiltración de agua superficial en el suelo para convertirse en humedad del suelo, el flujo sub superficial o flujo no saturado a través del suelo y, el flujo de agua subterránea o flujo saturado a través del suelo o roca.

#### 2.2.12 Almacenamiento

Casas Bautista, Luís (2002) El agua subterránea es proveniente de la precipitación y se forma por infiltración o percolación de corrientes y lagos; la percolación directa es el proceso más efectivo de la recarga del agua subterránea donde la capa freática está más cerca de la superficie del terreno y puede fluir más tarde en forma de manantiales o llegar a las corrientes como escurrimiento y a los cauces como gasto base o gasto de agua subterránea.

El almacenamiento en el subsuelo es la principal fuente de humedad del perfil del suelo. Una parte del agua aquí almacenada percola hacia el almacenaje de agua subterránea profunda y se pierde de la fase superficial del ciclo hidrológico.

El almacenaje de depresiones, es definido como el agua que es retenida en pequeñas depresiones del terreno y que no se convierte en escurrimiento superficial, pero puede contribuir a ambos (infiltración y evaporación) dependiendo del tiempo que permanece en esas de presiones del terreno.

### 2.2.13 Escorrentía

Aparicio M, F.J. (1997) refiriéndose a las relaciones lluvia escurrimiento dice que, es sumamente común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de las obras hidráulicas. En general los registros de precipitaciones son más abundantes que los de escurrimiento y, además, no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. Por ello, es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación. Las características de la cuenca se conocen por planos topográficos y de uso de suelo, y la precipitación a través de mediciones directas en el caso de predicción de avenidas frecuentes, o bien usando los métodos de análisis de datos de precipitación en el caso de avenidas de diseño.

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión lluvia a escurrimiento son los siguientes:

- ❖ Área de la Cuenca.
- ❖ Altura total de precipitación.
- ❖ Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.).
- ❖ Distribución de la lluvia en el tiempo.
- ❖ Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.

Villón Bejar Máximo (2002) El escurrimiento es otro componente del ciclo hidrológico y se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Si se analiza en un corte esquemático la superficie terrestre, se tiene que la precipitación cuando llega a la superficie se comparte de la siguiente manera:

- ❖ Una parte de la precipitación se infiltra; satisface la humedad del suelo de las capas que se encuentran sobre el nivel freático del agua, una vez que esta capa se satura el agua subterránea es recargada por la parte restante del agua que se infiltra.

- ❖ Otra parte de la precipitación tiende a escurrir sobre la superficie terrestre, a la precipitación que ocasiona éste escurrimiento se llama altura de precipitación en exceso.
- ❖ Una pequeña proporción se pierde.

Con base en lo anterior, el escurrimiento se clasifica en tres tipos:

Escurrimiento superficial, es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato y, existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine; la parte de la precipitación total que da lugar a este escurrimiento se denomina precipitación en exceso.

Escurrimiento sub superficial, es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total puede ser inmediato o retardado; Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que el escurrimiento superficial, en caso contrario como escurrimiento subterráneo.

Escurrimiento subterráneo, es aquel que proviene del agua subterránea la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra una vez que el suelo se ha saturado. El escurrimiento se clasifica en: escurrimiento directo cuando su efecto es inmediato y escurrimiento base si su efecto es retardado.

El hecho de presentarse una precipitación no implica necesariamente que haya escurrimiento superficial y en algunos casos tampoco escurrimiento subterráneo, esto depende de una serie de factores.

#### 2.2.14 **Balance hídrico media de la cuenca**

Ibarra Imata, Gregorio (1990) El cálculo del balance hídrico en una cuenca fluvial es siempre el principal objetivo; a partir del balance en cuencas fluviales se calculan los balances hídricos generales y se evalúan los recursos de agua para diferentes países, regiones y continentes.

Los componentes principales del balance hídrico son: la precipitación, escorrentía, evaporación y almacenamiento de agua en diversas formas.



Para calcular el balance hídrico de una cuenca con un gran río y con diferentes características fisiográficas, la cuenca puede subdividirse en subcuenas para cada una de las que se realiza el balance hídrico.

Mejía M. Abel (2001) Para ilustrar la aplicación del balance hídrico en una cuenca hidrográfica se considera el sistema muy simple y muy restringido, éste sistema está constituido de una superficie plana e inclinada, completamente impermeable confinado en sus cuatro lados con una salida en el punto A; si una entrada de lluvia es aplicada al sistema, una salida designado como flujo superficial se desarrollará en A.

El balance de agua en este sistema puede ser representado por la siguiente ecuación hidrológica:

$$I - O = dS / dt$$

Donde “*I*” es la entrada por unidad de tiempo, “*O*” la salida por unidad de tiempo y, “*dS / dt*” la variación del almacenamiento dentro del sistema por unidad de tiempo. Existe la necesidad de que una altura mínima sea acumulada en la superficie para que haya escorrentía superficial, pero a medida en que la intensidad de lluvia aumenta la altura de agua retenida sobre la superficie aumenta. Una vez cesado la lluvia, el agua retenida sobre la superficie continuará fluyendo hasta dejar el sistema como caudal remanente. En este ejemplo toda la precipitación será eventualmente transformada en caudal siempre que sean depreciadas las pérdidas por evaporación durante la entrada.

#### 2.2.15 El ciclo Hidrológico como sistema

Guevara Pérez Edilberto (1991) Un sistema es una estructura, mecanismo, esquema o procedimiento, real o abstracto, que relaciona en el tiempo y/o espacio una causa, entrada o estímulo de materia, energía o información con un efecto, salida o respuesta de materia, energía o información.

Estos métodos permiten diferenciar claramente sistemas hidrológicos: Hidrología física (o científica) y la investigación de sistemas hidrológicos (Hidrología aplicada). En hidrología física se relacionan diversas disciplinas del

campo de las ciencias naturales para tratar de entender el funcionamiento de un sistema hidrológico. Permite efectuar descripciones cuantitativas completas excepto para sistemas de gran simplicidad o demasiado idealizados, sin embargo, los conocimientos desarrollados han ejercido una profunda influencia sobre los métodos de investigación de sistemas hidrológicos y sobre las limitaciones e interpretaciones de los resultados obtenidos.

Los métodos de investigación en sistemas hidrológicos permiten la reconstrucción de eventos hidrológicos pasados y de predicción de variables hidrológicas, hay dos categorías:

Hidrología paramétrica: Desarrollo de relaciones entre diferentes variables y uso de éstas para reconstruir o predecir series hidrológicas (ejemplo: relaciones precipitación-escorrentía).

Hidrología probabilística: Serie de procesos matemáticos mediante los cuales se utiliza las características aleatorias y las propiedades estadísticas de las variables hidrológicas, con el fin de establecer modelos probabilísticos de los procesos que permitan predicciones y, simular el comportamiento de los sistemas en estudio.

La hidrología moderna utiliza una combinación de estos métodos, que tienen dos características en común: (1) Dependen de datos y registros históricos de los valores de las variables (medición). (2) Se basan en la hipótesis de invariancia en el tiempo de los sistemas hidrológicos.

#### **2.2.16 El sistema Hidrológico**

Guevara Pérez Edilberto (1991) Los fenómenos hidrológicos son muy complejos por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos, sin embargo, a falta de una concepción perfecta se puede representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema. Un sistema viene a ser un conjunto de partes que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrentía y, las otras fases del ciclo; estos componentes pueden reagruparse en subsistemas

separadamente y combinar los resultados de acuerdo con las interacciones entre ellos.

Se presenta el ciclo hidrológico global como un sistema; las líneas punteadas dividen el sistema total en tres subsistemas: (1) El sistema del agua atmósfera, que contiene los procesos de precipitación, evaporación, interceptación y transpiración. (2) El sistema del agua superficial, con los procesos de escorrentía superficial, flujo sobre el suelo, flujo sub superficial y subterráneo (hacia los cauces y océanos). (3) El sistema del agua sub superficial, que contiene los procesos de infiltración, recarga del agua subterránea, flujo sub superficial y subterráneo. El flujo sub superficial ocurre en los estratos del perfil del suelo en la cercanía de la superficie; el flujo subterráneo ocurre en los estratos más profundos.

Guevara Pérez Edilberto (1991) En la mayoría de los problemas prácticos, se consideran unos pocos procesos hidrológicos al mismo tiempo, lo mismo que sólo toman en cuenta una pequeña porción de la superficie terrestre. En la hidrología moderna se usa un concepto más restringido de sistema que el ciclo hidrológico global, se trata del concepto de volumen de control, similar al que se suele usar en la mecánica de fluidos. Como se sabe en dicho planteamiento no es necesario conocer el patrón de flujo dentro del volumen del control, sólo se tiene que conocer las propiedades del flujo en la superficie de control del límite del volumen de control.

Por analogía puede definirse a un sistema hidrológico como una estructura o volumen en el espacio, rodeado por un límite, al cual entran variables como agua y otras opera internamente sobre ellas produciendo variables de salida, que puede ser de la misma naturaleza que las de entrada, pero de diferente magnitud.

Un medio de trabajo ingresa al sistema interactúa con la estructura y otros medios para luego abandonar el sistema como salida. Como medios de trabajos operan procesos físicos, químicos y biológicos, los medios de trabajo más comunes incluidos en el análisis hidrológico son: agua, aire y energía calórica.

Debido a las dimensiones y complejidad de los sistemas hidrológicos, las aplicaciones de las leyes físicas producen sólo aproximaciones en los resultados, la mayoría de los procesos son además de naturaleza aleatoria; Por lo tanto, el

análisis estadístico juega un rol muy importante en el estudio hidrológico del sistema.

#### 2.2.17 **Modelo hidrológico**

Guevara Pérez Edilberto (1991) En hidrología suele utilizarse modelos para tratar de representar el comportamiento del sistema hidrológico (el prototipo); un modelo puede ser material o formal:

El modelo material, es una representación física del prototipo, con una estructura más simple, pero con propiedades similares a las del prototipo. Estos modelos materiales pueden ser físicos o análogos.

El modelo formal, es una abstracción matemática de una situación idealizada que preserva a grandes rasgos las propiedades estructurales importantes del prototipo; en hidrología aplicada (ingenieril) todos los modelos utilizados son de tipo formal y suelen denominarse modelos matemáticos.

En general, un modelo matemático puede ser: Teórico, Conceptual o Empírico. El Teórico se basa en un conjunto de leyes generales; mientras que el Empírico usa las inferencias derivadas del análisis de datos y, el Conceptual se ubica entre estos dos.

En hidrología aplicada (ingenieril) se usan actualmente cuatro tipos de modelos matemáticos: (1) Determinístico o físicamente basado, se formula utilizando las leyes físicas que rigen los procesos involucrados descritos mediante ecuaciones diferenciales. (2) probabilística, es gobernado por las leyes del azar y las probabilidades. (3) Conceptual, es una representación simplificada de los procesos físicos que se obtiene concentrando (integrando) las variaciones espaciales o temporales. (4) Paramétrico, representa los procesos hidrológicos por medio de ecuaciones algebraicas que contienen parámetros a determinar empíricamente.

En general, todos los métodos de análisis en ingeniería hidrológica pueden clasificarse en alguno de los 4 tipos de modelos recién descritos, veamos algunos ejemplos típicos.

- ❖ El rastreo de crecidas mediante la teoría de la onda cinética es un método determinístico, gobernado por una ecuación diferencial parcial que describe el balance de masa y momentum (simplificado).
- ❖ El análisis de frecuencia de crecidas (utilizando alguna distribución de probabilidades) es un método probabilístico
- ❖ El modelo de cascada de embalses lineales es conceptual: trata de simular las complejidades de la respuesta de la cuenca por medio de una serie de hipotéticos embalses lineales.
- ❖ El método de la fórmula racional es paramétrico: el caudal máximo se estima en base a un coeficiente de escorrentía determinado empíricamente.

$$Q=C*I*A/3.6$$

$Q = Q_{\max}$  para una cierta intensidad de precipitación (m3/s)

$I =$  Intensidad (mm/horas)

$A =$  Área cuenca (km<sup>2</sup>)

#### 2.2.18 Modelos de Precipitación-Descarga

Los modelos de Precipitación-Descarga más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas de agua al sistema (precipitación) y las salidas del mismo (evaporación, escorrentía y descarga del acuífero) reproduciendo simplifcadamente los procesos del ciclo hidrológico.

Estos procesos se representan por una determinada formulación y unos parámetros cuyos valores habrá que estimar en la cuenca a estudiar, bien con datos de aforo si los hay, bien por analogía con otras cuencas en que si exista esa

información (regionalización de parámetros). Dentro de estos modelos precipitación-descarga con balance de humedad se pueden distinguir.

- ❖ Los de elevado número de parámetros. Estos realizan un cálculo continuo, trabajan normalmente con datos horarios o diarios y utilizan alrededor de 15 a 20 parámetros estando entre los más conocidos el modelo de Stanford IV (Stanford Watershed Model IV) desarrollado por la Universidad de Stanford en 1959, TWN (Texas Watershed Model) desarrollado por la Universidad Tecnológica de México 1970, NWSRFS (National Weather Service Runoff Forecast System) desarrollado por el Servicio Nacional del Tiempo de los EE.UU. en 1972, PSF (Hidrologic Simulación Programa Fortran) desarrollada por la Agencia de Protección ambiental de los EE.UU. 1980, etc.
- ❖ Los de reducido número de parámetros. En este tipo de modelos se suele trabajar a escala temporal mayor (usualmente mensual) y se produce sólo las partes del ciclo hidrológico coherentes con dicha escala. Son modelos que manejan pocos parámetros entre 2 a 6 generalmente y, se utilizan en estudios de ámbito regional siendo muy adecuados cuando existe escasez de datos; entre los más conocidos están: THORNTHAWAITE-T, el más sencillo de los existentes, fue desarrollado en 1955 por Thornthwaite, consideró al suelo como un único embalse en el que el excedente de agua se produce solamente cuando este se encuentra lleno; aparte PALMERP, desarrollado por Palmer en 1965 consideró dos zonas de almacenamiento para reproducir el funcionamiento del suelo; (1) la zona radicular o zona superior, donde la evapotranspiración tiene lugar a la velocidad de la ETP y, (2) la inferior, donde plantea una ley de evapotranspiración que tiene en cuenta la mayor dificultad para que la evaporación se produzca a la velocidad de la potencial, el excedente de agua tiene lugar cuando los embalses están llenos.

#### **2.2.19 Modelo propuesto por Lutz Scholz**

Lutz Scholz (1980) Este modelo hidrológico es combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para un año promedio (Balance Hídrico -Modelo determinístico) y, una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano - Modelo Estocástico); fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas

de la sierra peruana entre 1979 y 1980 en el marco de la Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo; los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas; el procedimiento que siguió el experto Lutz Scholz fue.

- ❖ Analizó los datos hidrometeorológicos de 19 cuencas entre Cuzco y Cajamarca y procedió a calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de la esorrentía promedio.
- ❖ En un segundo paso, estableció un conjunto de modelos estocásticos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en estas cuencas que carecen de información hidrométrica. Aplicando los datos meteorológicos regionalizados para la cuenca respectiva y los modelos parciales, es posible calcular los caudales mensuales.
- ❖ El tercer paso permite la generación de caudales para un periodo extendido en el punto de captación proyectada por un cálculo combinando (la precipitación efectiva con las descargas del mes anterior por un proceso markoviano) y, calibrando el modelo integral por aforos ejecutados.

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.), los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.

La fórmula utilizada para el desarrollo de caudales para periodos extendidos es:

$$Q_t = B_0 + B_1 * Q_{t-1} + B_2 * PE_t + z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

Dónde:

$Q_t$	: Caudal del mes $t$
$Q_{t-1}$	: Caudal del mes anterior
$PE_t$	: Precipitación efectiva del mes $t$
$B_i$	: Coeficientes de la regresión lineal múltiple
$S$	: Error estándar de la regresión múltiple
$r$	: Coeficiente de correlación múltiple
$z$	: Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año $t$

#### 2.2.20 Tratamiento de datos hidrometeorológicos

Una de las áreas más descuidadas en el análisis de series hidrológicas es el tratamiento de los datos históricos registrados por medición directa por lectura o por conteo. Aquí, tratamiento significa el ajuste de los datos históricos a una condición homogénea, incluyendo la corrección de los posibles errores sistemáticos, la complementación, extensión de los mismos y la reducción de los datos a condiciones naturales.

La mayoría de las cuencas y las condiciones desarrolladas están en un constante estado de transición; por esta razón, los datos históricos pueden ser válidos sólo para una condición desarrollada e inválidos para otra; por ello, la confianza de la hidrología como una disciplina científica está realmente basada sobre la disponibilidad de suficientes datos (en cantidad y calidad) para verificarlas teorías alrededor del fenómeno natural.

Dentro del contexto general de un estudio se denomina fase preliminar y consiste básicamente de tres actividades principales: (1) Análisis de consistencia de la información, (2) complementación de los datos faltantes y (3) extensión de los registros.

Con la obtención de la información consistente, completa y extendida termina la fase preliminar, pudiendo a partir de este momento determinar los



parámetros deseados de dichos datos desarrollando la fase aplicativa que, para la presente tesis vendría a ser la aplicación del modelo “Precipitación-Descarga” del experto Lutz Scholz.

#### **2.2.21 Análisis de consistencia de la información**

La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos contemporáneos, ya que, cuando no se identifica, elimina ni se ajustan a las condiciones futuras la inconsistencia y no-homogeneidad en la muestra histórica se puede introducir un error significativo en todos los análisis futuros que se realicen, obteniéndose resultados altamente sesgados.

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias y, la no homogeneidad es definida como los cambios de los datos vírgenes con el tiempo. Por ejemplo, la no homogeneidad en los datos de precipitación es creada por tres fuentes principales: (1) el movimiento de las estaciones en una distancia horizontal, (2) el movimiento vertical, (3) cambios en el medio ambiente de una estación de control como tala árboles, construcción de casas, inundaciones, entre otros.

En forma general los datos medidos en una estación pueden incluir dos tipos de errores; errores aleatorios y errores sistemáticos.

Los errores aleatorios, se presentan debido a la inexactitud en las mediciones y observaciones, son difíciles de evaluar después de transcurrido un tiempo y se originan por error de lectura de datos, equipos defectuosos, mal empleo de los equipos, transcripciones erróneas, entre otros.

Los errores sistemáticos son los de mayor importancia y como consecuencia de los mismos los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente, con lo que los resultados finales se desvían pudiéndose producir grandes errores en los estudios que se realicen a partir de dichos datos (regularizaciones).

Los errores sistemáticos pueden ser a la vez de dos tipos: naturales y artificiales u ocasionados por la mano del hombre los mismos que ocurren en una dirección como saltos y tendencias, de allí que sean éste tipo de errores los que se analicen para eliminarlos como datos inconsistentes.

Los errores sistemáticos naturales como por ejemplo la muerte gradual de la cobertura arbórea debido a una plaga, el calentamiento global, entre otros, ocasionará cambios graduales en los datos registrados; los errores sistemáticos artificiales u ocasionados por la mano del hombre, como por ejemplo, el cambio de la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas, el sobre pastoreo, la construcción de infraestructuras hidráulicas en la cuenca, la construcción de casas, la tala brusca de árboles, entre otros, ocasionarán cambios bruscos en los registros como saltos y tendencias. También es posible que el origen del cambio no sea conocido entonces el problema se torna más complejo.

Desde un punto de vista práctico son de mayor interés los errores sistemáticos ocasionados por la intervención de la mano del hombre y en ellos se concentra el análisis de consistencia. Esta inconsistencia y no-homogeneidad se pone de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

El análisis de consistencia de la información es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no-homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica.

Según la disponibilidad de la información hidrometeorológica el estudio en una cuenca puede clasificarse en series múltiples y series simples: Las series simples, cuando se cuenta con el registro de una estación, para estos datos se realiza un análisis de consistencia de tipo más estocástico. Las series múltiples, cuando se cuenta con los registros de más de una estación, el índice indicador del tiempo cronológico de cada serie puede ser común, superpuesto de periodos no iguales o no pueden ser superpuestos en toda la serie permitiendo relacionar los registros de dichas estaciones de manera adecuada. Cuando se considera el tratamiento de series múltiples se cuenta con una ventaja cuando hay alguna relación entre ellas, si no existen tales relaciones, se puede analizar las series múltiples como series

simples. Se esquematiza en forma general el camino que se debe seguir según el tipo de serie con la que se cuenta; en el caso particular del presente trabajo se cuenta con series múltiples por lo que se explicará su análisis de consistencia, no así de las series simples.

#### **2.2.22 Análisis de saltos**

Aliaga Araujo, Vito (1985) Son formas determinísticas transitorias, que permiten a una serie hidrológica periódica o no periódica pasar desde un estado a otro como respuesta a cambios hechos por el hombre debido al continuo desarrollo de los recursos hídricos en la cuenca o a cambios naturales continuos que pueden ocurrir.

Villón Bejar Máximo (2002) Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero generalmente desde un punto de vista práctico el análisis más importante es en los dos primeros.

Se presenta la forma típica de un salto que puede ser originado por el movimiento de la estación o derivación aguas arriba de una estación de control, en general representa un salto si se modifica de forma brusca las condiciones normales aguas arriba de la estación de control (caudales) o alrededor de la estación de medición (precipitación).

##### **2.2.22.1 Análisis de tendencias**

Villón Bejar Máximo (2002) Tendencias son componentes determinísticos transitorios que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidrometeorológica en cualquier parámetro de la misma, que afecta la distribución y dependencia de las series. Por ejemplo, si hay un cambio ascendente o descendente en la temperatura, precipitación, evaporación o escurrimiento, entonces se produce una tendencia. (Estas tendencias son originadas por intervención directa del hombre)

#### **2.2.23 Complementación y/o extensión de datos hidrometeorológicos**

La complementación y extensión de la información se realiza con la finalidad de aumentar el contenido de la información de los registros cortos y tener en lo posible series completas más confiables y de un período uniforme.

Existen varios procedimientos para realizar la complementación y extensión de los datos faltantes, desde la utilización de criterios prácticos como el relleno con el promedio hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas.

Cuando se realiza la complementación y/o extensión de datos hidrológicos o meteorológicos se debe asegurar la confiabilidad de la técnica utilizada debido a que:

- Al aumentar la longitud de un registro de datos se disminuye el error estándar de estimación de los parámetros ya que cuando el tamaño muestral tiende al infinito el estimador se asemeja más al parámetro Poblacional.
- Si el procedimiento no es el adecuado en vez de mejorar los estimados se empeoran, siendo preferible utilizar los registros cortos.

El proceso de complementación se realiza en las series consistentes, vale decir, después de haber analizado la confiabilidad de los mismos.

### **Tipos de Correlación**

Aliaga Araujo, Vito (1985) Para efectos de comprensión de la terminología utilizada, se define las correlaciones existentes en el tiempo y en el espacio las mismas que son:

A.- Correlación en el tiempo solamente: Auto correlación o correlación temporal o correlación lineal sin desfase.

B.- Correlación en el espacio solamente: Correlación cruzada o correlación espacial o correlación serial sin desfase.

C.- Correlación en el tiempo y en el espacio: correlación espacial y temporal o correlación cruzada con desfase.

### 2.2.23.1 Ecuación de regresión lineal simple

La ecuación de R.L.S es lineal porque genera una línea y es simple porque intervienen solamente dos variables. La representación matemática es:

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i \quad \text{Modelo matemático}$$

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i + \varepsilon_i \quad \text{Modelo estocástico}$$

Donde:

$Y_i$  : Es la variable dependiente

$X_i$  : Es la variable independiente

$\alpha$  y  $\beta$  : Son los parámetros de la ecuación de regresión,  $\alpha$  es el punto de intersección entre la línea de regresión y el eje “Y”;  $\beta$  es el coeficiente de regresión o pendiente de la línea de regresión el mismo que explica cuan rápido aumenta o disminuye la variables dependiente “Y” con un cambio “X”; el residuo que queda de la variable “Y” que no ha sido considerado en “X”, existe debido a que las muestras son al azar y debido al efecto de otras variables.

Para que el proceso de inferencia sea válido es necesario que las variables cumplan ciertas condiciones a las que se denomina suposiciones y son: (1) Que el modelo propuesto sea el adecuado. (2) Para cada valor de X se genera una distribución de valores Y los cuales son normales. (3) Los errores se distribuyen normalmente e independientes con media cero y variancia  $\sigma^2$ . (4) Existe homogeneidad de varianza. (5) Las muestras son al azar. (6) Los valores de X son fijos medidos sin error.

El método utilizado para estimar los parámetros de la ecuación de regresión es el de mínimos cuadrados, que consiste como su nombre lo indica en minimizar la suma de cuadrados del error.

### 2.2.23.2 Procesos de complementación de datos por regresión lineal múltiple

Como se mencionó anteriormente, completar significa llenar los vacíos en la información hidrometeorológica existente. Para realizar el proceso de complementación de datos de una estación en base a otra, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Buscar o seleccionar las estaciones que guardan buena relación con la estación que se quiere completar.
- En los análisis respectivos no juntar datos de épocas secas con datos de épocas húmedas, sino que realizar el proceso separadamente.
- Si se dispone de pocos datos regresibles entonces completar el dato faltante con un coeficiente de correlación alto.
- Cerciorarse o verificar que las características de la cuenca de la estación completa y de la estación a completar sean similares en su comportamiento hidrológico. Para este paso se usa los parámetros: área, ubicación, orografía, altura, forma, vegetación, etc. Cuanto más similares sean estas características es más probable que la correlación entre estaciones cercanas de un mismo río es relativamente buenas.
- Verificar que los escurrimientos superficiales registrados en las estaciones sean efecto de las mismas causas (precipitación, afloramientos de aguas subterráneas, nieves, regulaciones, etc.).
- Para realizar la complementación de datos de ser posible probar la normalidad de las series, y si no lo son, transformarles a normales; en la mayoría de los casos esta condición es asumida como un hecho.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIALES Y METODOLOGÍA**

#### **3.1 MATERIALES**

##### **3.1.1 Ubicación del área de estudio**

La sub cuenca del Rio Quiroz, correspondiente a la cuenca del Chira, presenta la siguiente ubicación geográfica y política

##### **Ubicación Geográfica**

La sub cuenca del rio Quiroz tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas UTM (WGS84)

NORTE 575000 – 680000

ESTE 9450000 – 9520000

Variación Altitudinal: 250 – 3000 m.s.n.m

### **Ubicación Política**

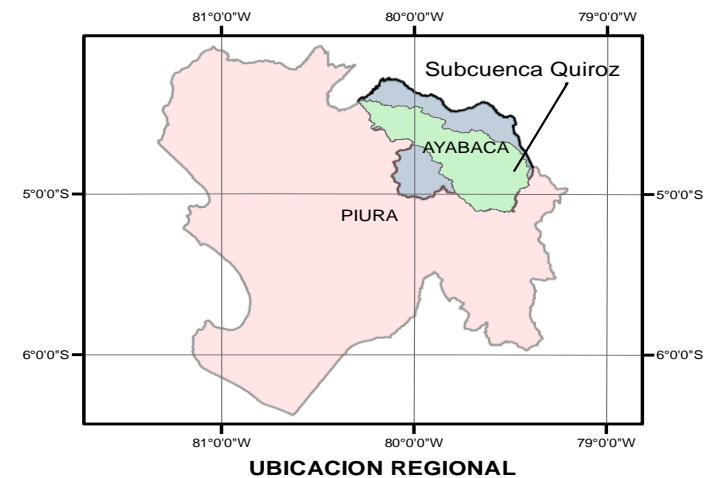
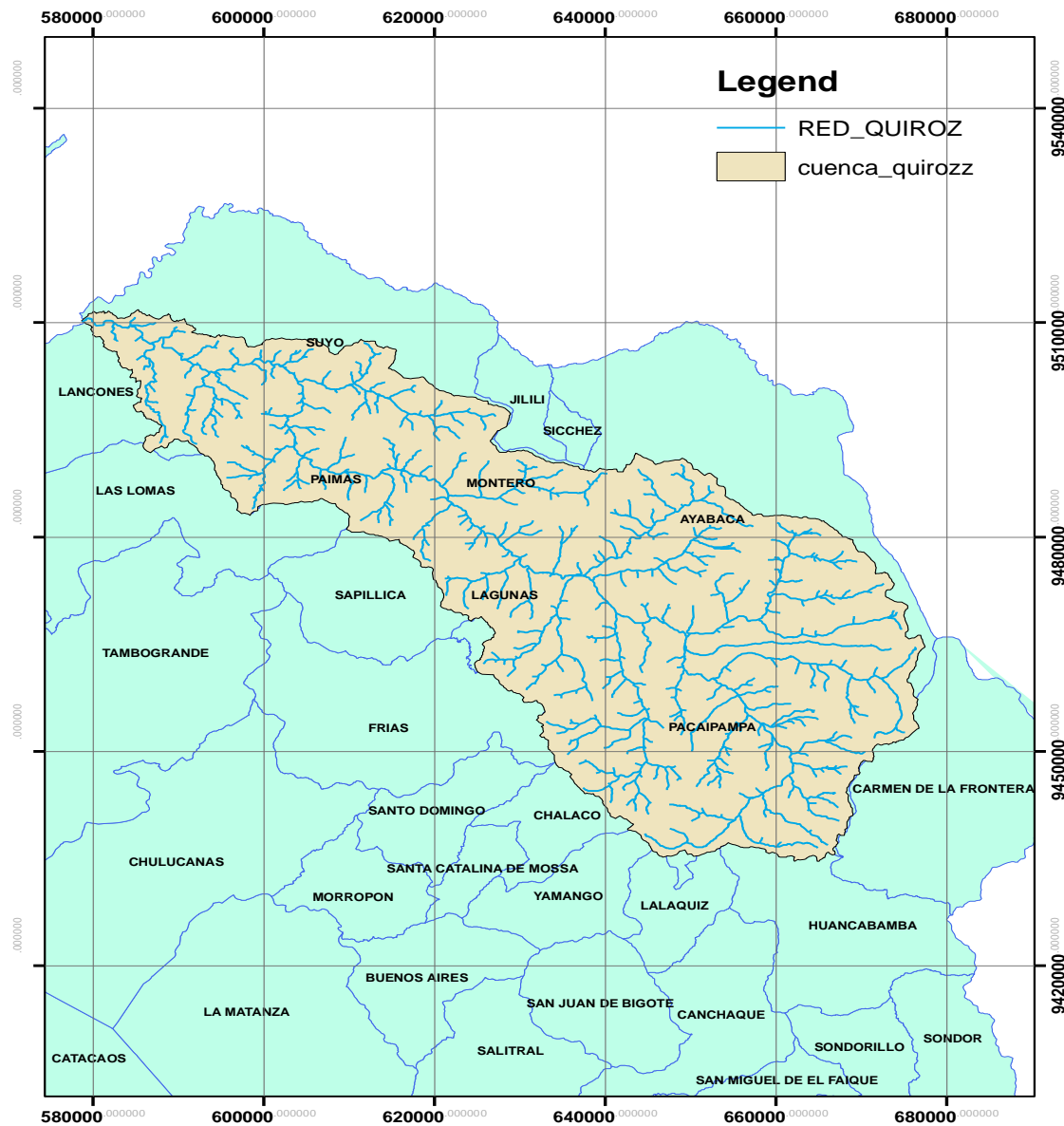
La superficie de la sub cuenca del rio Quiroz, políticamente se encuentra en:

Región: Piura

Departamento: Piura

Provincias: Ayabaca





<b>APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO LUTZ SCHOLZ PARA DETERMINAR CUADALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUIROZ</b>		
<b>MAPA DE UBICACIÓN</b>		
Sistema de Referencia: WGS-84 Proyección: Universal Transversal de Mercator Sistemas de coordenadas: UTM-Zona-17s		
ELABORADO: BR. Hernan Rafael Gamarra Chuquicusma	FECHA: NOVIEMBRE 2017	LAMINA: MAPA-01

### 3.1.2 Características de la Cuenca

En general, la cuenca se encuentra bajo incidencias climáticas tanto de la vertiente Alto Andina Oriental (de la cuenca del Amazonas) como del pacífico, con la predominación de la primera.

Puede clasificarse como una cuenca de clima húmedo en la cordillera alta, disponiendo, gracias a las abundantes precipitaciones, de una cobertura vegetal cerrada, aunque no muy exuberante debido a la altura.

La cuenca dispone de precipitaciones casi todo el año, que son mayores durante los meses de enero a mayo y luego disminuyen hasta sus valores mínimos entre julio y setiembre y vuelven a incrementarse a partir de octubre. En algunos años, debido a la presencia del Fenómeno del Niño en la costa norte del Perú, las lluvias en la cuenca pueden ser muy intensas hasta alcanzar las magnitudes catastróficas.

#### 3.1.2.1 Climatología

Existen seis tipos climáticos en la zona, que se pueden observar. A continuación, se expone una pequeña descripción de cada tipo.

El tipo climático Seco y Cálido corresponde al sector más bajo del área de estudio y se halla ubicado aproximadamente entre los 150 y 1,500 msnm; su promedio anual de precipitación fluctúa entre 300 y 600 mm. y su temperatura promedio se mantiene entre 25° C y 22° C. Presenta limitación por deficiencia de lluvias, aun cuando los demás elementos meteorológicos son muy favorables para las actividades agropecuarias.

El tipo climático Moderadamente Húmedo y Templado Cálido se encuentra localizado en el sector Norte, entre las cotas altitudinales de 1,000 y 2,000 msnm. Aproximadamente su promedio anual de precipitación varía entre 600 y 1,200 mm. y su temperatura promedio está entre 23°C y 18°C. Presenta una ligera limitación para la agricultura, por la variación anual de las lluvias que, en

determinadas épocas, permiten llevar agricultura de secano complementada con riego, aunque en algunos años, demasiado secos, originan pérdidas.

El tipo climático Ligeramente Húmedo y Templado frío se ubica en el sector central y suroccidental del área de estudio, entre las cotas altitudinales de los 1,200 a los 2,500 msnm., aproximadamente su promedio anual de precipitación varía entre 500 y 1,000 mm. y la temperatura promedio entre 22°C y 14°C. Constituye un clima similar al anterior por su limitación hídrica, pero sus temperaturas son más frescas, compensándose la poca lluvia con una menor evapotranspiración, lo que permite conducir cultivos de secano sin mucho problema.

El tipo climático Húmedo y Semifrío está localizado entre los niveles altitudinales de los 1,000 y los 3,000 msnm., aproximadamente; su promedio de precipitación anual está entre 1,000 y 1,800 mm. y su promedio de temperatura entre 17°C y 12°C. Es un clima apropiado para las actividades agrícolas de secano, tanto por sus valores de precipitación como por sus temperaturas moderadas.

El tipo climático Muy Húmedo y Frío Moderado se ubica aproximadamente entre los 3,000 y 3,500 metros de altitud; su promedio de precipitación anual está entre 1,000 y 2,000 mm y su temperatura promedio entre 12°C y 8°C. Este clima permite la conducción de una agricultura de secano en sus sectores bajo y medio. En el sector superior presenta como factor limitante la baja temperatura, que sólo permite llevar con éxito la actividad ganadera.

El tipo climático Muy Húmedo y Frío Acentuado corresponde al sector más alto de la zona, ubicado entre los 3,500 m. de altitud y el límite cordillerano; su precipitación pluvial supera los 2,500 mm de promedio anual y la temperatura promedio está entre 10°C y 6°C, aproximadamente. Este tipo climático tiene limitaciones severas para la agricultura por la baja temperatura, pero permite conducir bien la ganadería extensiva.

### **3.1.2.2 Geología**

En la zona de estudio existen formaciones estratigráficas que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario. La secuencia geo cronológica comprende rocas metamórficas, sedimentario-volcánicas y sedimentos consolidados. Las rocas metamórficas están conformadas por esquistos, filitas, pizarras y cuarcitas, de edad Precámbrica y Paleozoica; las rocas sedimentaria-volcánicas están conformadas por lutitas, calizas y potentes secuencias de andesitas, tufos y dacitas, de edad Triásica-Jurásica, Cretácea (principalmente) y Terciaria. Por último, los sedimentos inconsolidados están conformados por depósitos morrénicos y fluvio-aluviales del Cuaternario. Las rocas ígneas intrusivas corresponden al Batolito Andino Costanero, siendo de tipo granodiorítico.

Tectónicamente, el área de estudio ha estado sometida a grandes deformaciones como consecuencia de los diversos eventos orogenéticos y el emplazamiento del Batolito, evidenciadas por distintos rasgos estructurales, como la Deflexión de Huancabamba, la Provincia Ondulada de Lancones, la Provincia de Bloques Fallados y otras.

En el aspecto mineralógico, han sido reconocidos algunos depósitos metálicos y no metálicos. Los primeros están representados por pequeños sistemas de vetas de Pb, Cu, Ag y Au, localizados en dos zonas más o menos importantes; una, al Este de Ayabaca, denominada Franja Mineralizada de Aragoto-Ollería, y la otra, en las cercanías de Suyo.

Asimismo, se han ubicado algunos pequeños lavaderos de oro antiguos del sector de Sicchez-río Calvas y la quebrada Olleros.

Entre los depósitos no metálicos más significativos se tienen las pequeñas vetas de Baritina (algunas parcialmente explotadas) del sector La Copa-Paimas; se cuenta también con materiales cerámicos (arcillas) y depósitos calcáreos.

Los materiales de construcción pueden considerarse abundantes; están conformados por arenas, gravas y piedras corrientes del cauce del río Quiroz y por diversos materiales rocosos, principalmente andesitas, tufos, cuarcitas, granodioritas, etc. utilizables también para ornamentación.

### **3.1.2.3 Fisiografía**

En 1978 la Oficina Nacional de evaluación de recursos naturales definió que las

geoformas de la tierra del área estudiada se agrupan dentro de cuatro paisajes fisiográficos: aluvial, colinoso, montañoso y glacial.

#### **3.1.2.3.1 Paisaje aluvial**

Tipifica a las zonas originadas por deposición de sedimentos acarreados por los ríos o cursos de agua, tales como los ríos Quiroz, Aranza, etc. Este paisaje se caracteriza por presentar cinco unidades: depósitos de fondo de valle, depósitos aluviales intermontañosos, depósitos de cauces de régimen intermitente, lechos de inundación, así como abanicos aluviales y conos de deyección.

#### **3.1.2.3.2 Paisaje colinoso**

Se caracteriza por presentar superficies onduladas que se alzan hasta alturas no mayores de 300 m sobre el nivel de base local. Incluye lomadas, colinas bajas y colinas altas.

#### **3.1.2.3.3 Paisaje montañoso**

Constituye la mayor parte del área estudiada y se caracteriza por comprender elevaciones de hasta aproximadamente 3,900 m.s.n.m. Presenta topografía muy accidentada, con un enorme potencial erosional y de configuración abrupta y disectada, teniendo en gran parte una cobertura de vegetación natural abundante.

#### **3.1.2.3.4 Paisaje glacial**

Completa el cuadro fisiográfico del área, asentándose sobre las partes más altas del sector cordillerano, a altitudes aproximadas de 3,000 m.s.n.m. Corresponde a geo formas testigo de una actividad de glaciación de montaña de épocas pasadas, mostrando un modelado típico de la acción erosiva y de posicional de las masas de hielo que cubrieron el sector. Presentan dos unidades principales: formas de erosión glacial y formas de acumulación glacial.

#### **3.1.2.4 Suelos de la región**

De acuerdo a lo expuesto por la Oficina Nacional de evaluación de recursos naturales, el grupo edáfico dominante está constituido por Ustortens, suelos que permanecen secos gran parte del año y que muestran un decrecimiento regular en el contenido de materia orgánica. Se distribuyen desde las porciones más altas semiáridas hasta las zonas húmedas, con pendientes desde fuertemente inclinadas hasta extremadamente empinadas y sobre basamento litológico variado. En las áreas con mayor deficiencia de humedad, su vocación es sólo para pastos temporales y protección; en las de suficiente humedad, pueden sustentar pastos permanentes y, sobre los 2000 msnm, forestales de producción. En menor proporción, siguen los suelos Torrifluvent y Torriortent. Los primeros, se encuentran distribuidos las partes bajas, en un ambiente árido o semiárido y sobre áreas de origen aluvial, como fondeos de valle, abanicos aluviales, etc. Los suelos de tipo Torriortent, permanecen secos casi todo el año y muestran un decrecimiento regular en el contenido de materia orgánica. Se distribuyen por debajo de los 1000 msnm, en un ambiente climático de aridez o semiaridez. Las pendientes van desde inclinadas hasta extremadamente empinadas. En pendientes menores de 50%, pueden sustentar una actividad pecuaria extensiva y temporal; en el resto del área y en donde además inciden las limitaciones edáficas, quedan relegadas a protección.

El resto de grupos de suelos (Ustifluvent, Haplustol, etc.), ocupan superficies más pequeñas y se distribuyen desde las zonas aluviales hasta las porciones más altas semiáridas y zonas húmedas, montañosas, por encima de los 2400 msnm. Tienen aptitud para fines de producción forestal y pastos, principalmente.

#### **3.1.2.5 Uso del suelo de la cuenca**

La agricultura es una de las principales actividades en la zona. Las características topográficas y climáticas predominantes en el área de estudio han condicionado la variada distribución de las áreas agrícolas; así, en altitudes

inferiores a los 800 msnm (zona baja) se encuentran mayormente áreas de valle irrigadas en un gran porcentaje, con un cierto nivel tecnológico y desarrolladas principalmente en función del cultivo de arroz. Sobre los 800 msnm (zona alta) se ubica un complejo agrícola, compuesto de áreas agrícolas de quebradas y de ladera, las que se conducen básicamente en secano. Los principales cultivos en la zona alta son el maíz, la yuca, la caña, el plátano y el café.

#### 3.1.2.6 **Ecología**

Las Zonas de Vida ubicadas en la parte baja, entre los 250 y 1,500 m.s.n.m. aproximadamente, presentan condiciones térmicas y edáficas apropiadas para las actividades agrícolas y/o pecuarias, pero su factor limitante es la falta de lluvias, por lo

cual la agricultura está reducida a los pequeños sectores donde ha sido posible llevar agua para riego. Las Zonas de Vida que se encuentran en esta parte baja del área son: Bosque muy seco-Tropical, Monte espinoso-Tropical, Monte espinoso-Premontano Tropical, Monte espinoso-Premontano Tropical transicional, una parte del Bosque seco-Premontano Tropical y los primeros niveles del Bosque seco-Premontano Tropical transicional.

A medida que se va ganando altitud en las cuencas, mejora la eficiencia hídrica de las Zonas de Vida correspondientes, como consecuencia del aumento de la precipitación y disminución de la temperatura, encontrándose progresivamente condiciones más favorables para las actividades agrícolas y/o pecuarias.

Las Zonas de Vida que se encuentran entre los 1,500 y los 3,000 m.s.n.m. son: la parte central y sur del Bosque seco Premontano Tropical, así como una parte del Bosque seco- Premontano Tropical transicional, el Bosque seco-Montano Bajo Tropical, el Bosque seco- Montano Bajo transicional, el Bosque húmedo-Montano Bajo Tropical y los primeros niveles tanto del Bosque húmedo-Montano Tropical (lado Sur) como del Bosque muy húmedo-Montano Tropical.

Finalmente, siguiendo el ascenso por sobre los 3,000 m.s.n.m. hasta llegar a los límites superiores, se observa que la baja temperatura se convierte en factor limitante para las actividades agrícolas. Las zonas de vida representativas son: Bosque húmedo-Montano Tropical y Bosque muy húmedo-Montano Tropical.

### 3.1.3 Materiales y equipo

#### 3.1.3.1 Información Cartográfica

Los planos utilizados corresponden a la sub cuenca del Rio Quiroz, cuenca del Chira, el formato digital del plano base utilizado, está en el sistema coordenadas UTM WGS84, proyectadas para la zona 17, que es donde se ubica la zona en estudio.

#### 3.1.3.2 Información Meteorológica

La información meteorológica se obtuvo del Proyecto Especial Chira Piura y es de propiedad del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI), se utilizaron registros de precipitación total mensual y anual de las estaciones Ardilla, Ciruelo, Sicchez, Ollero, Montero, Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola; mientras que para la información de Humedad Relativa y Temperatura media mensual se utilizó registros de la estación Ayabaca. El periodo de registro es de 1973 – 1992 no se considera el año 1983 por ser un año con precipitaciones extraordinarias.

Para el presente estudio se ha trabajado con 11 estaciones meteorológicas que presentamos a continuación.

Tabla 3.1: Estaciones Meteorológicas

N	ESTACION	UBICACIÓN GEOGRAFICA		X	Y	ALTITUD
		PROVINCIA	DISTRITO			
1	ANIA CABUYAL	AYABACA	AYABACA	668186	9463728	2450
2	LAGUNA SECA	AYABACA	AYABACA	668178	9460042	2450
3	SAN JUAN	AYABACA	PACAIAMPAMPA	662612	9450840	2150
4	SICCHEZ	AYABACA	SICCHEZ	636817	9495118	1435
5	MONTERO	AYABACA	MONTERO	629408	9487760	1070
6	ARRENDAMIENTOS	AYABACA	LAGUNAS	621978	9465660	3010



7	OLLEROS	AYABACA	AYABACA	649733	9480353	1360
8	ESPINDOLA	AYABACA	AYABACA	666390	9487690	2300
9	NANGAY	AYABACA	PACAIPAMPA	636758	9461949	2100
10	ARDILLA	SULLANA	LANCONES	562862	9500738	150
11	EL CIRUELO	AYABACA	SUYO	594323	9524659	202

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.3.2 Información Hidrométrica

La información hidrométrica obtenida para el presente estudio, corresponde al registro histórico de caudales medios mensuales aforados en la Toma Zamba y es de propiedad de la Junta de Usuarios de San Lorenzo. Para el presente estudio la información de caudales medios mensuales aforada en el periodo de los años 1973 a 1992, no se tiene en cuenta el año 1983 ya que es un año con precipitaciones extraordinarias, con un promedio de 19 años de registro de observación.

Equipos y materiales para el procesamiento.

Los equipos y materiales utilizados en el procesamiento e impresión son:

- Hardware: Computadora, impresora y accesorios
- Software: Office 2010, AutoCAD, ArcGis
- Materiales de escritorio

## 3.2 METODOLOGIA

La meteorología empleada en el presente trabajo de investigación es la siguiente:

### 3.2.1 Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Los parámetros geomorfológicos de la sub cuenca del río Quiroz queda definida por su forma, relieve y drenaje, esta interrelación suministra la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica en una cuenca hidrográfica.

La información de los parámetros geomorfológicos de la sub cuenca del río Quiroz, se obtuvo mediante el uso del sistema de información geográfica ArcGis 10.3, a partir de esto se calculó lo siguiente:

Parámetros Básicos:

- Área de la cuenca (A)
- Perímetro de la cuenca (P)
- Longitud de la cuenca (L)
- Longitud del Cauce Principal (Lp)
- Cota inicial del Cauce Principal
- Cota Final Cauce Principal
- Longitud total de cauces (Lt)
- Ancho de la cuenca (W)

$$w = \frac{A}{L}$$

Altitudes Características

- Altitud media de la Cuenca
- Altitud más frecuente
- Altitud de Frecuencia media (Em)

$$Em = \frac{\sum ae}{A}$$

Parámetros Geomorfológicos

- Factor Forma (F)

$$F = \frac{A}{L^2}$$

- Relación de elongación (R)

$$R = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

- Relación de Circularidad (Rc)

$$Rc = \frac{4A\pi}{P^2}$$

- Índice de Compacidad o Índice de Gravelious (K)

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Parámetros de Relieve:

- Pendiente media de la cuenca
- Pendiente media del cauce principal

Parámetros de la red Hidrográfica

- ❖ Densidad de drenaje (Dd)

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

- ❖ Constante de estabilidad del río (C)

$$C = \frac{A}{Lt}$$

- ❖ Densidad de escorrentía o densidad hidrográfica (Dh)

$$Dh = \delta Dd^2$$

Curvas Características de la cuenca

### **Sistema Hidrográfico**

La longitud del río principal es de 113.18 km, resultando una pendiente media del cauce principal 0.0088, presenta una dirección suroeste a norte y tiene una densidad de drenaje 0.46.

### **3.2.2 Determinación de parámetros estadísticos**

Para la serie históricas de caudales medios mensuales, precipitación total mensual, temperatura media mensual y humedad relativa media mensual, los parámetros estadísticos se extraen de una muestra, indicando las características de la población.

Los principales estadísticos son los momentos de primer, segundo y tercer orden correspondiente a la media, varianza, y asimetría respectivamente.

**a. Media aritmética.**

Es el valor esperado de la variable misma. Primer momento respecto al origen y muestra la tendencia central de la distribución y de determina con la siguiente ecuación matemática:

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

El valor estimado de la media a partir de la muestra es

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi$$

**b. Varianza.**

La varianza mide la variabilidad de los datos. Es el segundo momento respecto a la media.

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx$$

El valor estimado de la varianza a partir de la muestra es

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^2$$

En el cual el divisor es n-1 en lugar de n para asegurar que la estadística de la muestra no sea sesgada, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero.

La desviación estándar es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones que la media y simplemente es la raíz cuadrada de la varianza, se estima por s.

$$S = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

El coeficiente de variación es una medida adimensional de la variabilidad y su estimativo es la relación de la desviación estándar y la media.

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}}$$

### 3.2.3 Análisis de consistencia de la información hidrométrica y meteorológica

El análisis de consistencia es una técnica que permite detectar, corregir y eliminar errores sistemáticos y aleatorios que se presentan en series hidrométricas; en consecuencia, la serie analizada debe ser homogénea, consistente y confiable. La no homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas son causadas por errores aleatorios y sistemáticos; entre ellas se tiene:

- ❖ El error aleatorio se presenta a causa de la inexactitud en las mediciones, mala lectura, mal funcionamiento del instrumento, errores de copia, etc.
- ❖ Los errores sistemáticos son los de mayor importancia, como consecuencia de los mismos, los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente y pueden ser naturales, (derrumbes, colmatación y erosión de la sección transversal de la estructura de la estación de aforo; en general llamados como desastres naturales); artificiales y ocasionados por la mano del hombre (déficit en la toma de datos, cambio de la estación de aforo, construcción de estructuras hidráulica, explotación de aguas subterráneas, tala de árboles, etc.).

La no homogeneidad e inconsistencia en la serie histórica puede producir errores significativos en todos los análisis futuros y obtendría resultados altamente sesgados.

La no homogeneidad e inconsistencia en la serie histórica se presentan en forma de saltos y/o tendencias. Antes de realizar el modelamiento matemático de cualquier serie hidrológica es importante efectuar el análisis de consistencia respectivo con el fin de obtener una serie homogénea, consistente y confiable.

Los saltos “Jump” llamados también resbalamientos, son componentes determinísticas transitorias que se manifiestan en forma de cambios bruscos

haciendo posibles que en la serie se presentan periodos de distinto comportamiento. Los saltos generalmente se presentan en la media y desviación estándar.

Antes de realizar el modelamiento matemático de cualquier serie hidrológica es importante efectuar el análisis de consistencia respectivo con el fin de obtener una serie homogénea consistente y confiable.

El análisis de consistencia de la información hidrometeoro lógica se analizan desde tres puntos de vista o etapas siguientes:

- ❖ Análisis Visual de Hidrogramas.
- ❖ Análisis de doble masa.
- ❖ Análisis estadístico.

#### **3.2.4 Análisis visual de hidrogramas**

Consiste en analizar visualmente la información histórica en un hidrograma ploteada en coordenadas cartesianas, en el eje de las abscisas se plotea el tiempo (en años o meses) y en el eje de las ordenadas las variables hidrometeoro lógicas. La apreciación visual de estos gráficos permite observar la distribución de las variables en estudio con respecto al tiempo, e indicar el periodo o periodos dudosos, lo cual se puede reflejar como saltos y/o tendencias.

Para indicar en este primer análisis los periodos y aceptables se puede analizar en diversas formas:

- ❖ Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan sus hidrogramas y se ve cual periodo varia notoriamente uno respecto al otro.
- ❖ Cuando se tiene una sola estación, esta se divide en varios periodos y se compara con la información obtenida en campo, tratando de no confundir un salto con la ocurrencia de varios periodos húmedos o prolongadas sequías.
- ❖ En lo posible se debe mantener el periodo más largo como la más confiable.

#### **3.2.5 Análisis de doble masa.**

El análisis de doble masa o de dobles acumulaciones es una herramienta que sirve para detectar la inconsistencia de la información hidrometereologica, mediante los puntos de quiebres que se presentan en los diagramas respectivos.

El procedimiento para realizar este análisis es el siguiente:

- ❖ Se obtiene la información original de dos o más estaciones de registro.
- ❖ Ploteamos los valores obtenidos en el paso anterior en sistema de coordenadas cartesianas, en el eje de abscisas el promedio de las precipitaciones anuales acumulados y en el eje de ordenadas las precipitaciones anuales acumulados de cada estación en estudio.
- ❖ En estos gráficos se define los quiebres que pueden ser significativos o no para su posterior análisis estadístico.

### **3.2.6 Análisis estadístico.**

La inconsistencia y no homogeneidad en series hidrológicas, ocasionan errores significativos en los resultados que se infiere en los análisis que se efectúan a las series hidrológicas.

Una vez obtenido los hidrogramas originales y análisis de doble masa, se puede ver que el comportamiento de las precipitaciones es homogéneo, no existe presencia de saltos, no existen quiebres significativos, por tanto, no hay periodos de posible corrección, en consecuencia, en los registros históricos de precipitaciones totales mensuales, no es necesario realizar el análisis estadístico.

### **3.2.7 Precipitación media en la cuenca**

#### **3.2.7.1 Polígono de Thiessen**

Previo al cálculo de generación de caudales por los métodos propuestos como LUTZ SCHOLZ se hizo el cálculo de la precipitación media mensual por el método de polígonos de THIESEN y los pasos que se siguieron para realizar este método es el siguiente:

Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.

- Trazar líneas rectas que bisecan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
- Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso anterior, que forman los llamados Polígonos de Thiessen.

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * P_i$$

Donde:

$P_{med}$  = Precipitación media

$A_t$  = Área total de la cuenca

$A_i$  = Área de influencia parcial del Polígono de Thiessen correspondiente a la estación i

$P_i$  = Precipitación de la estación i.

$n$  = Numero de estación tomadas en cuenta

### 3.2.8 Generación de caudales medios mediante el modelo Lutz Scholz

Para generar caudales mediante el modelo LUTZ SCHOLZ, se requieren del cálculo de varios parámetros y a continuación se describe el procedimiento:

#### 3.2.8.1 Balance hídrico

La ecuación que describe el balance hídrico mensual en mm/mes es:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (1)$$

Donde:

$CM_i$  = Caudal mensual (mm/mes)



$P_i$  = Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)

$D_i$  = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

$G_i$  = Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)

$A_i$  = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo:

1. Que para períodos largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor es decir  $G_i = A_i$ , y
2. Que para el año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Reemplazando  $(P-D)$  por  $(C*P)$ , y tomando en cuenta la transformación de unidades

(mm/mes a m<sup>3</sup>/seg) la ecuación (1) se convierte en:

$$Q = c' * C * P * AR \quad (2)$$

Donde:

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$c'$  = coeficiente de conversión del tiempo (mes/seg)

$C$  = coeficiente de escurrimiento

$P$  = Precipitación total mensual (mm/mes)

$AR$  = Área de la cuenca (m<sup>2</sup>)

### 3.2.8.2 Coeficiente de escurrimiento (C)

Es la porción de lluvia real que produce escorrentía superficial.

El coeficiente de escorrentía varia a lo largo del tiempo, está en función del terreno, vegetación, H° horas sol.

Para esta investigación se ha considerado el uso de la fórmula propuesta por L. Turc:

$$C = \frac{P-D}{P} \quad (3)$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación Total anual (mm/año)

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D y L, se utilizan las siguientes expresiones:

$$D = \frac{P}{\left[0.9 * \left(\frac{P}{L}\right)^2\right]^{0.5}} \quad (4)$$

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \quad (5)$$

Siendo:

L = Coeficiente de Temperatura

T = Temperatura media anual (°C)

Por otro lado, también se ha desarrollado un método empírico, que es válida para la región sur, dado que no se ha podido obtener una ecuación general del coeficiente de escurrimiento para toda la sierra.

$$C = 3.16 E12 * P^{-0.571} * EP^{-3.686} \quad r = 0.96 \quad (6)$$

$$D = -1380 + 0.872P + 1.032EP \quad r = 0.96 \quad (7)$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual según Pennman Modificado-FAO (mm/año)

r = Coeficiente de correlación

La evapotranspiración potencial, se ha determinado mediante la fórmula de Pennman Modificado-FAO en base a temperatura:

$$E_o = \frac{\left[ \frac{m * e_s}{P * T^2} \right] * R_n + E_a}{\left[ \frac{m * e_s}{P * T^2} \right] + 1}$$

Dónde:

$E_o$	: Evapotranspiración potencial en (mm/día)
$m$	: $8.03 * 10^6 \text{ } ^\circ K^2$
$e_s$	: Presión de vapor de saturación (hPa) en tablas psicométricas.
$P$	: $P = 1014.78 * e^{-1.17 * 10^{-4} Z}$
$T$	: Temperatura del aire ( $^\circ K$ )
$R_n$	: Radiación Neta (mm/día) $R_n = R_{noc} - R_{nol}$
$E_a$	: Término aerodinámico (mm/día)

### 3.2.8.3 Precipitación efectiva

Este parámetro se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo.

En este trabajo se ha utilizado el elaborado por el Servicio de Conservación de Suelo del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos.

#### ❖ Porcentaje Fijo

$$Pe = P \times 80\% \quad (8)$$

#### ❖ Formula FAO/AGLW

$$Pe = 0.6 \times P - 10/3; P \leq 70/3 \text{ mm} \quad (9)$$

$$Pe = 0.8 \times P - 24/3; P > 70/3 \text{ mm} \quad (9a)$$

#### ❖ Formula Empírica

$$Pe = 0.5 \times P - 5/3; P \leq 50/3 \text{ mm} \quad (10)$$

$$Pe = 0.7 \times P - 20/3; P \leq 50/3 \text{ mm} \quad (10a)$$

#### ❖ Formula USDA

$$Pe = (P \times (125 - 0.2 \times 3 \times P)) / 125; P \leq 250/3 \text{ mm} \quad (11)$$

$$Pe = 125/3 + 0.1 \times P; P > 250/3 \text{ mm} \quad (11a)$$

Donde:

P = precipitación promedio mensual

3 = factor de corrección

De los cuales utilizaremos la Formula FAO/AGLW que es la que se adecua al método del Lutz Scholz

#### 3.2.8.4 Retención de la cuenca

Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo, además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, se puede calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal según las fórmulas.

$$R_i = CM_i - P_i \quad (12)$$

$$CM_i = PE_i - D_i + G_i - A_i \quad (12a)$$

Dónde:

$CM_i$  : Caudal mensual (mm/mes)

$PE_i$  : Precipitación efectiva mensual (mm/mes)

$P_i$  : Precipitación total mensual (mm/mes)

$D_i$  : Déficit de escurrimiento (mm/mes)

$G_i$  : Gasto de la Retención en la cuenca. (mm/mes)

$A_i$  : Abastecimiento de la Retención (mm/mes)

$R_i = G_i$  : Para valores mayores de cero (mm/mes)

$R_i = A_i$  : Para valores menores de cero (mm/mes)

Sumando todos los valores  $G$  o  $A$  respectivamente, se halla la retención total  $R$  de la cuenca durante el año promedio en las dimensiones de mm/año. Esta ecuación se realiza básicamente para realizar la calibración de la retención de la cuenca.

### 3.2.8.5 Relación entre descargas y retención

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$Q_i = Q_0 * e^{-at} \quad (13)$$

Donde:

$Q_i$  = descarga en el tiempo  $t$

$Q_0$  = descarga inicial

$a$  = Coeficiente de agotamiento

$t$  = tiempo

Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. En base a los hidrogramas se ha determinado que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa continuando de forma progresiva pero menos pronunciada, hasta el final de dicha estación

### 3.2.8.6 Coeficiente de agotamiento

Mediante la fórmula (13) se puede calcular el coeficiente de agotamiento " $a$ ", en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente.

Con fines prácticos se puede despreciar la variación del coeficiente " $a$ " durante la estación seca empleando un valor promedio.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca.

$$a = f(\ln AR)$$

$$a = 3.1249E67 (AR)^{-0.1144} (EP)^{-19.336} (T)^{-3.369} (R)^{-1.429}$$

Los análisis de las observaciones disponibles muestran, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana:

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo, cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas, para la cual se ha seleccionado la siguiente:

Cuencas con agotamiento reducido. Debido a la alta retención (>100 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados):

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.23 \quad (14)$$

donde:

a = coeficiente de agotamiento por día

AR = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

EP = evapotranspiración potencial anual (mm/año)

T = duración de la temporada seca (días)

R = retención total de la cuenca (mm/año)

### 3.2.8.7 Almacenamiento hídrico

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados:

- Acuíferos
- Lagunas y pantanos
- Nevados

La determinación de la lámina "L" que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

### **Acuíferos:**

$$L_A = 750 (I) + 315 \quad (15.1)$$

Siendo:

$L_A$  : Lamina específica del acuífero (mm/año).

$I$  : Pendiente de desagüe:  $I \leq 15 \%$

### **Lagunas y Pantanos**

$$L_L = 500 \text{ mm/año} \quad (15.2)$$

Siendo:

$L_L$  : Lámina específica de lagunas y pantanos

### **Nevados**

$$L_N = 500 \text{ mm/año} \quad (15.3)$$

Siendo:

$L_N$  : Lámina específica de nevados

### ✓ **Retención de lámina total**

$$RT = L_A * A_{ap} \quad (15.4)$$

Dónde:

$RT$  : Retención de lámina total (m<sup>3</sup>/año)

$L_A$  : Lamina específica del acuífero (mm/año).

$A_{ap}$  : Área de acuíferos potenciales, “35% del área de la cuenca”, (km<sup>2</sup>)

### ✓ **Retención total de la cuenca**

$$R = \frac{RT}{AR} * 1000 \quad (15.5)$$

Dónde:

$R$  : Retención de la microcuenca (mm/año)

$RT$  : Retención de lámina total (m3/año)

$AR$  : área de la cuenca (km2)

### 3.2.8.8 Gasto de la retención

El Gasto de la retención “G” es el volumen de agua que entrega la cuenca en los meses secos bajo un determinado régimen de entrega. El abastecimiento de la retención “A” es el volumen de agua que almacena la cuenca en los meses lluviosos bajo un determinado régimen de almacenamiento.

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$b_0 = e^{-a(t)} \quad (16a)$$

$$b_i = \sum_{i=1}^6 b_0^t \quad (16b)$$

$$G_i = R \frac{b_0^t}{\sum_{i=1}^6 b_0^t} \quad (16)$$

Dónde:

$G_i$  : Gasto de la retención

$b_i$  : Razón de agotamiento mensual

$b_0$  : Razón de agotamiento inicial

$a$  : Coeficiente de agotamiento

$t$  : Tiempo (días)



Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. En base a los hidrogramas se ha determinado que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa continuando de forma progresiva pero menos pronunciada, hasta el final de dicha estación.

### 3.2.8.9 Restitución

Se utiliza como referencia los valores de precipitación promedio mensual para estimar la cuota del almacenamiento mensual en la zona de interés.

$$Ri = (ri / \Sigma ri) * A \quad (17)$$

$$ri = r/100$$

Donde:

$Ri$ : Proporción del agua de lluvia que entra en el almacén hídrico para el mes(i)

$A$ : Almacenamiento hídrico

$r$ : Almacenamiento hídrico (mm/año)

$ri$ : almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (r %)

### 3.2.8.10 Abastecimiento de la retención

Es el volumen de agua que retiene la cuenca durante la época de lluvias, almacenando naturalmente en acuíferos, lagunas, pantanos, nevados, para luego alimentar los ríos.

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática.

La lámina de agua  $Ai$  que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva  $PEi$ . Se calcula mediante la ecuación:

$$Ai = ai \frac{R}{100} \quad (18)$$

Siendo:

$Ai$  = abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

$ai$  = coeficiente de abastecimiento (%)

$R$  = retención de la cuenca (mm/año)

### 3.2.8.11 Determinación del caudal mensual para un año promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para año promedio se calcula según la ecuación del balance hídrico a partir de los componentes descritos

anteriormente.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (19)$$

Dónde:

$CM_i$  : Caudal mes i (mm/mes)

$PE_i$  : Precipitación Efectiva del mes i (mm/mes)

$G_i$  : Gasto de la Retención del mes i (mm/mes)

$A_i$  : Abastecimiento en el mes i (mm/mes)

### 3.2.8.12 Generación de caudales para periodos extendidos

El modelo hidrológico presentado anteriormente (de Lutz Scholz) permite estimar los caudales del año promedio para la microcuenca en estudio a con una precisión satisfactoria.

Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de caudales sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un periodo extendido.

Un método apropiado para la generación de caudales consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden con una variable de impulso, que vendría a ser la precipitación efectiva.

Ecuación general del modelo markoviano

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (20)$$

La variable de impulso considerada la Precipitación efectiva

$$Q = g(PE_t) \quad (21)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de los valores generados y obtener una aproximación cercana a la realidad, se utiliza, además una variable aleatoria.

$$Z = z * S * (1 - r^2)^{0.5} \quad (22)$$

Finalmente, la ecuación integral para la generación de caudales mensuales combinando los componentes citados, se escribe.

$$Q_t = B_0 + B_1 * Q_{t-1} + B_2 * PE_t + z * S * (1 - r^2)^{0.5} \quad (23)$$

Dónde:

$Q_t$  : Caudal del mes t

$Q_{t-1}$  : Caudal del mes anterior

$PE_t$  : Precipitación efectiva del mes t

$B_i$  : Coeficientes de la regresión lineal múltiple

$S$  : Error estándar de la regresión múltiple

$r$  : Coeficiente de correlación múltiple

$z$  : Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año t

El procedimiento para la generación de descargas medias mensuales para periodos extendidos es la siguiente:

- a. Cálculo de parámetros del modelo  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $r$  y  $S$ , con el resultado de la generación de caudales mensuales para el año promedio, efectuando una regresión lineal múltiple entre el caudal del mes  $Q_t$  como variable dependiente, caudal del mes anterior  $Q_{t-1}$  y la precipitación efectiva  $PE_t$ , como valores independientes.

- b. Cálculo de la precipitación efectiva mensual para el registro de la precipitación área mensual de la cuenca
- c. Generación de números aleatorios normalmente distribuidos con media cero y
- d. desviación estándar igual a 1.
- e. Generación de descargas medias mensuales para periodos extendidos con la
- f. información de los pasos anteriores mediante la ecuación. (23)

### **3.2.8.13 Test Estadístico**

Para determinar la calidad de la coincidencia de los caudales generados con los observados, se desarrolla la comparación de los promedios y desviaciones tipo de los valores históricos y los generados.

Para probar si los promedios salen de la misma población, se utiliza el test de Student (Prueba "t"). Esta prueba debe ser desarrollada para cada mes. Se compara el valor de t con el valor límite  $t_{p, n}$  que indica el límite superior que, con una probabilidad de error del P%, permite decir que ambos promedios pertenecen a la misma población.

La comparación estadística de promedios se realiza mediante el test de Fischer (Prueba "F"). que se compara con el valor límite  $F_{p/2}(\%)$ , ( $n_1$ ,  $n_2$ ).

### **3.2.8.14 Restricción del modelo**

El modelo presenta ciertas restricciones de uso o aplicación tales como:

- a. El uso de los modelos parciales, únicamente dentro del rango de calibración establecido.
- b. Su uso es únicamente para el cálculo de caudales mensuales promedio.
- c. Los registros generados en el período de secas presentan una mayor confiabilidad que los valores generados para la época lluviosa.
- d. La aplicación del modelo se restringe a las cuencas en las que se ha calibrado sus parámetros (sierra peruana: Cusco, Huancavelica, Junín y Cajamarca).

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Los resultados obtenidos al aplicar la metodología descrita en el capítulo anterior y así como su discusión, se presentan a continuación.

##### **4.1.1 Parámetros geomorfológicos de la sub cuenca**

Los parámetros geomorfológicos de la subcuenta del rio Quiroz se presenta a continuación:

	PARAMETROS BASICOS							
Sub cuenca								

	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud (km)	Lp (km)	Cota Inicial del Cauce (m.s.n.m)	Cota final del cauce (m.s.n.m)	Lt (km)	W= AL (km)
Quiroz	3134.72	359.52	114.56	113.18	1200	200	1446.48	27.36

	PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS				PARAMETROS DE RELIEVE	
Sub cuenca	Factor Forma	Relación Elongación	Relación de Circularidad	Índice de Gravelious	Pendiente Media %	Pendiente Media del Cauce %
Quiroz	0.24	0.55	0.3	1.8	29.82	0.88

	PARAMETROS DE LA RED HIDROGRAFICA		
Sub Cuenca	Densidad de Drenaje	Constante de estabilidad del rio	Densidad hidrográfica
Quiroz	0.36	0.68	0.56

Fuente y Elaboracion Propia

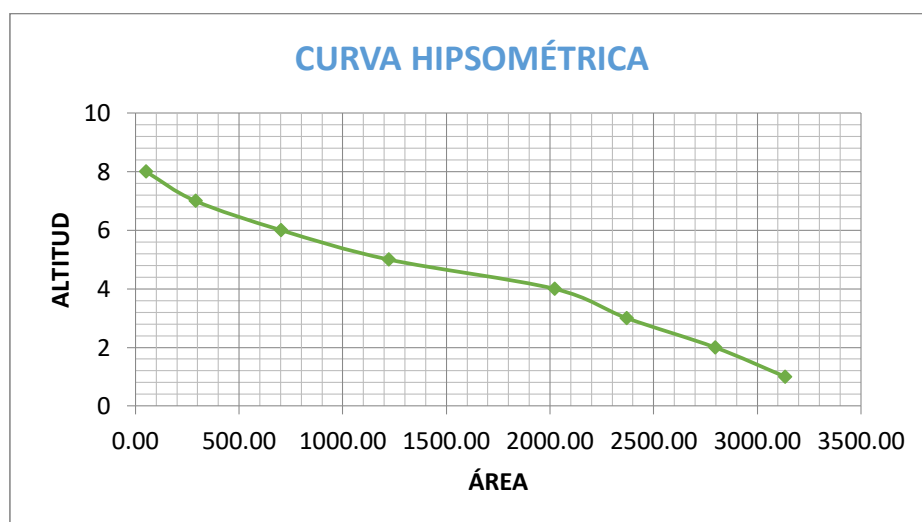
### Altitudes Características

Altitud media de la cuenca: 1972.59 m.s.n.m

Altitud más frecuente: 1750.00 m.s.n.m

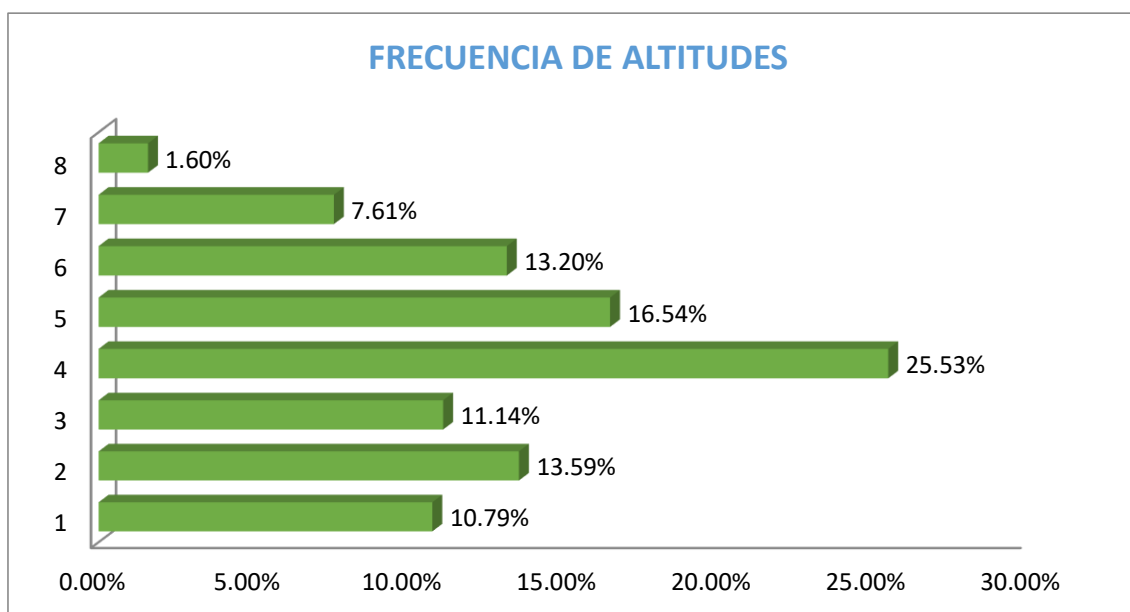
Altitud de frecuencia media: 1763.17 m.s.n.m

Grafico 4.1. Curva Hipsométrica de la sub cuenca del rio Quiroz



Fuente y elaboración: Propia

Grafico 4.2. Curva de frecuencia de altitudes



Fuente y elaboración: Propia

## 4.2 DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Para realizar el trabajo de investigación. La variable que se empleó en el presente estudio es la precipitación total mensual, esta información es obtenida a través de Proyecto Especial Chira Piura (PECH); el mismo que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se va a emplear información pluviométrica de 11 estaciones meteorológicas.

Para el presente estudio, para tener un mejor análisis de la consistencia de la información se ha dividido en 3 grupos de estaciones meteorológicas, considerando que las estaciones tengan altitudes similares, sean cuencas vecinas y tengan comportamiento hidrológico similar.

La agrupación de estaciones meteorológicas se presenta a continuación:

- ✓ Grupo N° 1: están las estaciones Ardilla y Ciruelo los mismos que se ubican en la parte baja de la sub cuenca del rio Quiroz, son estaciones vecinas.
- ✓ Grupo N° 2: están las estaciones Sicchez, Olleros y Montero los mismos que se ubican en la parte media de la sub cuenca del rio Quiroz, son estaciones vecinas.
- ✓ Grupo N° 3: están las estaciones Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna Seca, San Juan y Espíndola los mismos que se ubican en la parte alta de la sub cuenca del rio Quiroz, son estaciones vecinas.

#### **4.3. DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEREOLOGICA**

Este análisis se realizó para comprobar si existen o no saltos en las series históricas de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Ardilla, Ciruelo, Sicchez, Ollero, Montero, Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna Seca, San Juan, Espíndola.

##### **a. Del análisis visual de hidrogramas**

En este análisis, se hizo la apreciación de los hidrogramas de series de precipitación mensual, para ver visualmente mediante los gráficos los errores o periodos dudosos que pudiera tener alguna estación para así poder hacer la respectiva corrección de datos.



En el grafico 4.3, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Ardilla, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 330.0 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

En el grafico 4.4, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Ciruelo, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 657.29 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

En el grafico 4.5, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Sicchez, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 524.70 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

En el grafico 4.6, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Olleros, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 404.80 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

En el grafico 4.7, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Montero, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 450.81 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

En el grafico 4.8, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Arrendamientos, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972

a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 175.55 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

En el grafico 4.9, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Nangay, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 245.91 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

En el grafico 4.10, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Ania, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 617.96 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

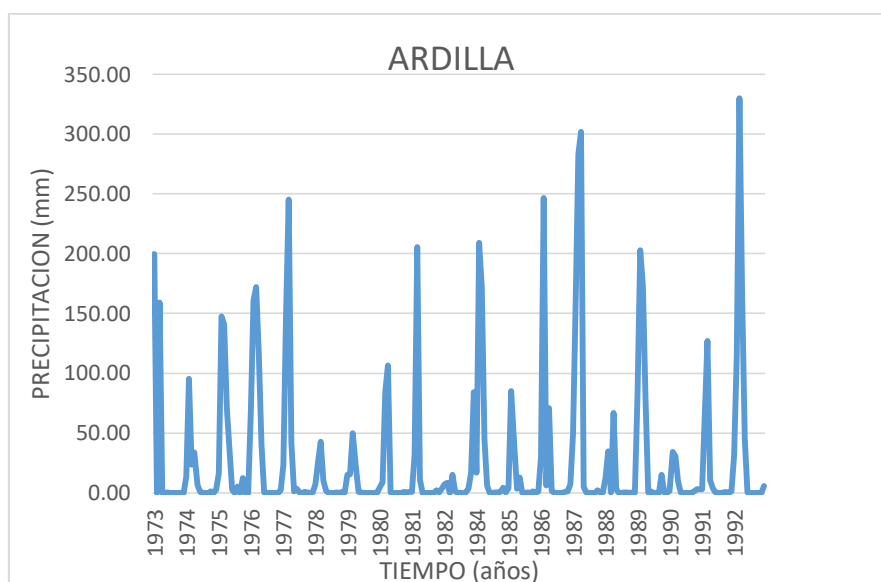
En el grafico 4.11, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Laguna, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 472.5 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

En el grafico 4.12, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación San Juan, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a 1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 434.61 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

En el grafico 4.13, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Espíndola, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1972 a

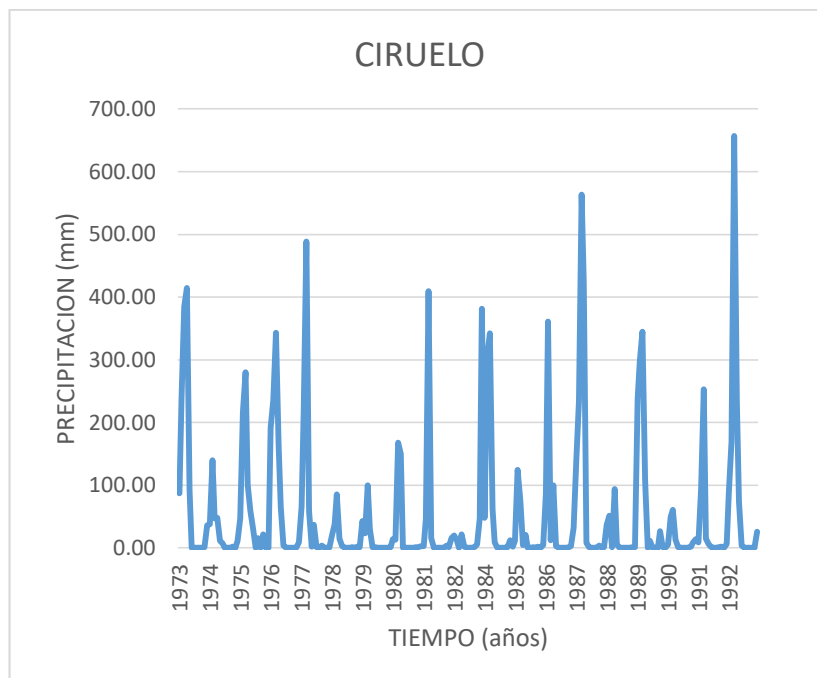
1992, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneas, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 422.17 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizar el análisis de doble masa.

Grafico 4.3: Hidrograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Ardilla – Periodo (1973- 1992)



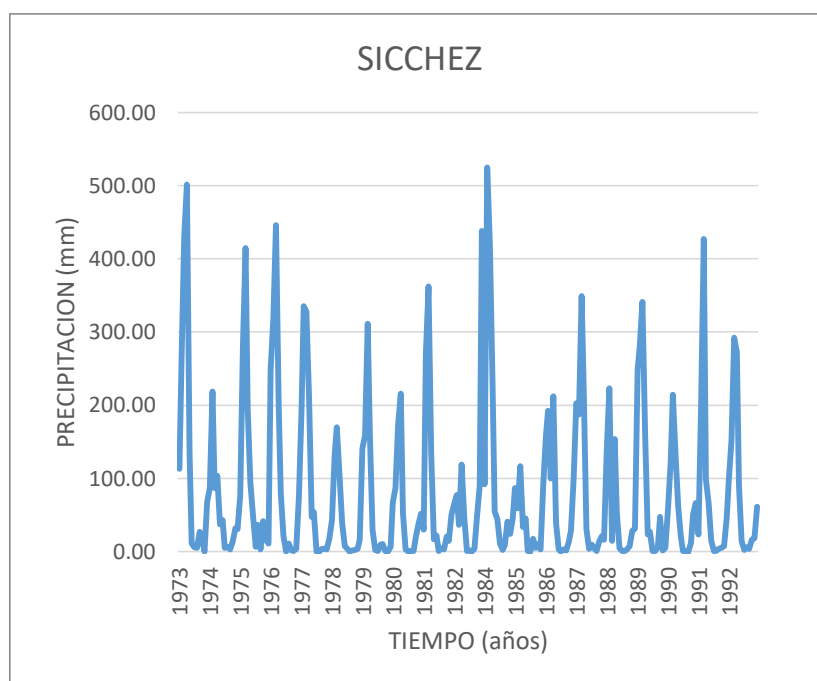
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.4: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Ciruelo – Periodo (1973- 1992)



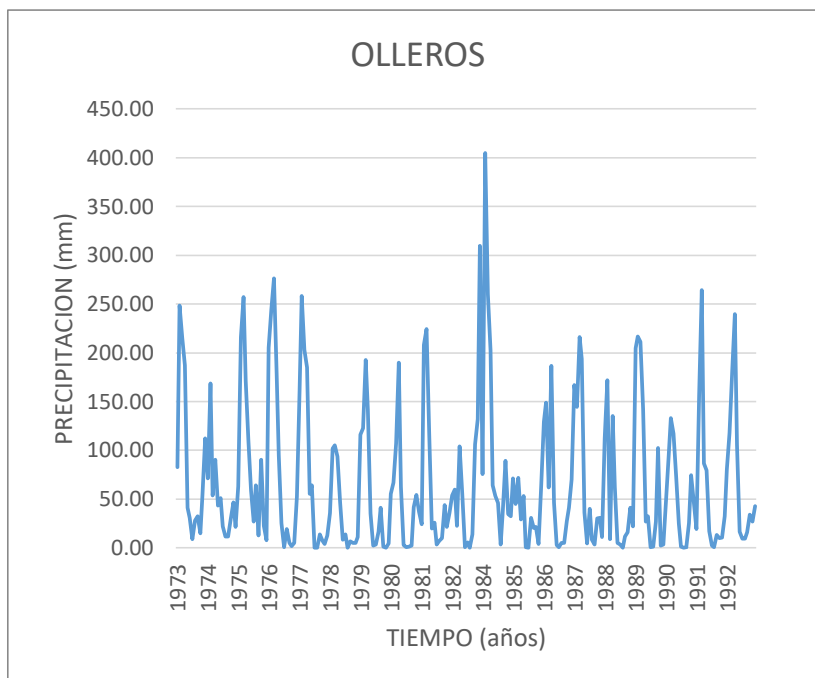
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.5: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Sicchez –  
Periodo (1973- 1992)



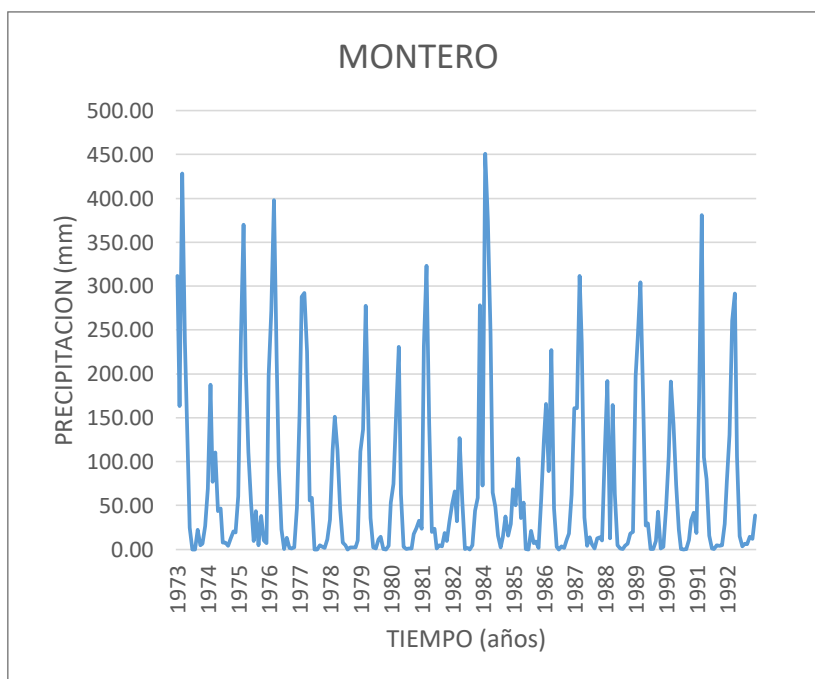
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.6: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Ollero –  
Periodo (1973- 1992)



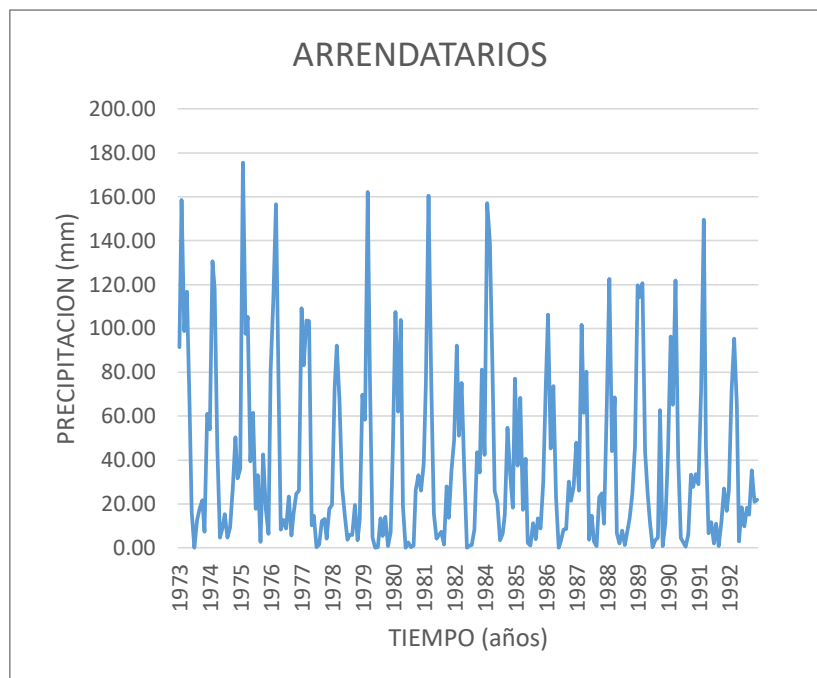
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.7: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Montero –  
Periodo (1973- 1992)



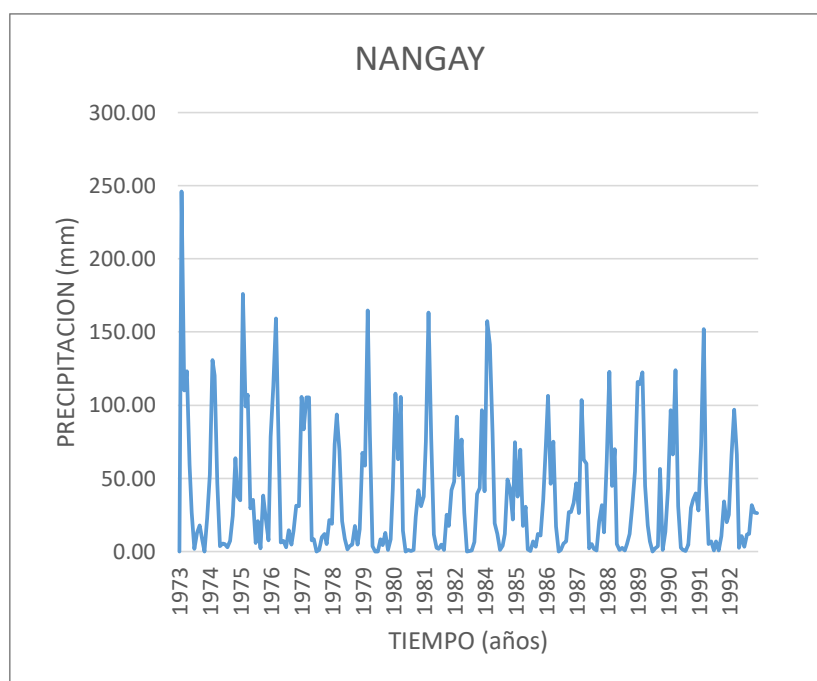
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.8: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación  
Arrendamientos – Periodo (1973- 1992)



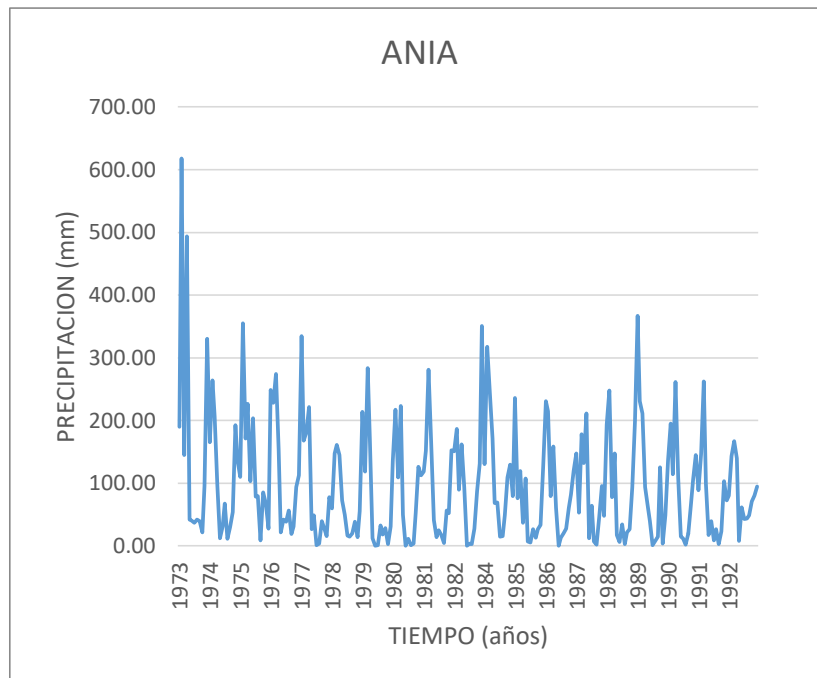
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.9: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Nangay –  
Periodo (1973- 1992)



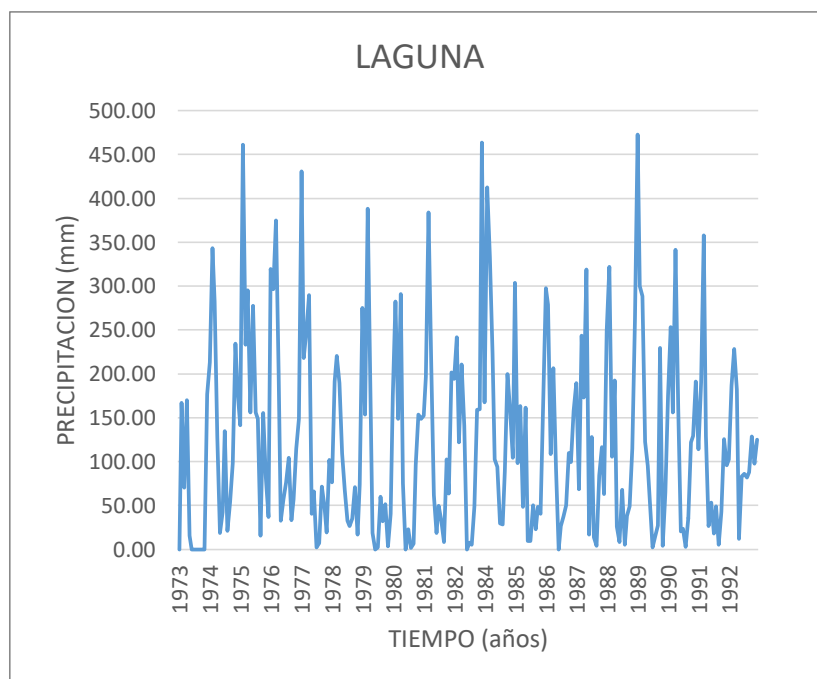
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.10: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Ania –  
Periodo (1973- 1992)



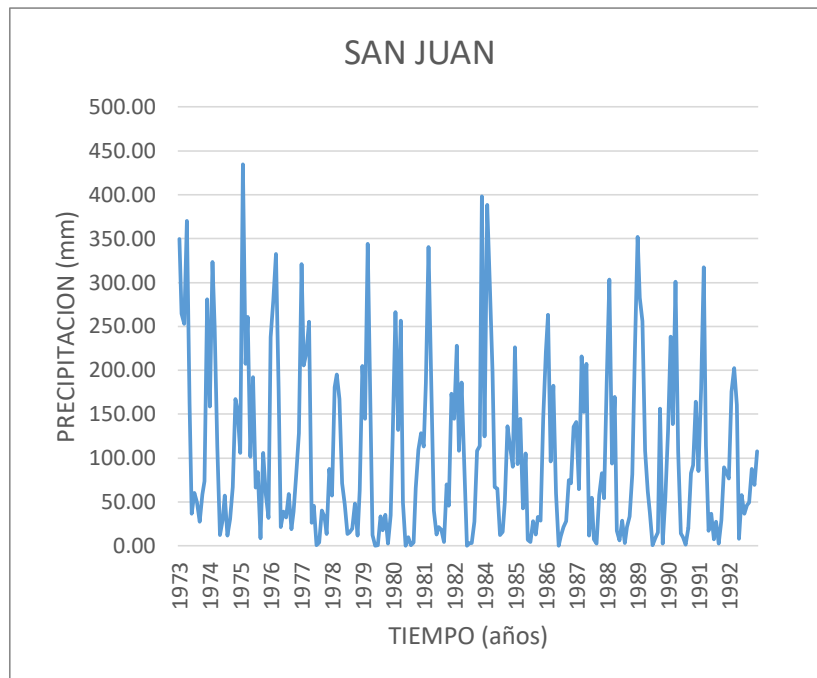
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.11: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Laguna Seca  
– Periodo (1973- 1992)



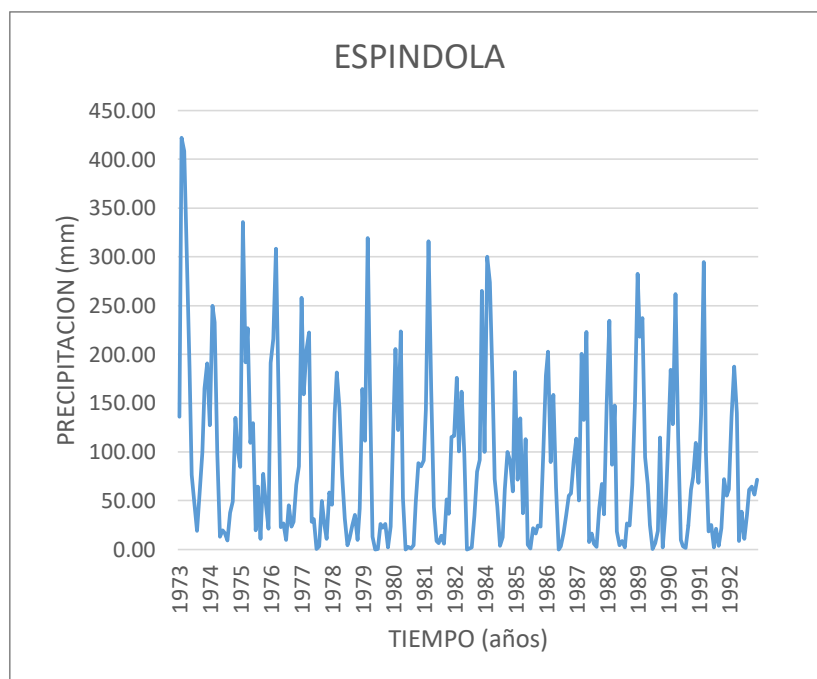
Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.12: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – San Juan – Periodo  
(1973- 1992)



Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.13: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Espíndola – Periodo (1973- 1992)



Fuente y Elaboración: Propia

## b. Del análisis de doble masa



En la tabla 4.1, se presentan los datos de precipitación total anual acumulada del grupo 1: Ardilla y Ciruelo y la información total anual acumulado de cada estación.

En el grafico 4.14, se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones estudiadas; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las 2 estaciones estudiadas no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Ardilla y Ciruelo son consistentes, en consecuencia, no es necesario realizar el análisis estadístico

Para más certeza en la tabla 4.2, se presenta el análisis estadístico, en ella se observa que para las 2 series del grupo 1, los valores de T calculado son menores que los valores de t tabular y los valores de F calculado son menores que los valores de F tabular; en consecuencia, estadísticamente se comprueba que no existen saltos en las series de precipitaciones totales mensuales de las estaciones.

En la tabla 4.3, se presentan datos de precipitación total anual acumulada del grupo 2: Sicchez, Ollero y Montero y la información de precipitación total anual acumulada de cada estación.

En el grafico 4.15, se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones estudiadas; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las 3 estaciones estudiadas no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Sicchez, Ollero y Montero son consistentes, en consecuencia, no es necesario realizar el análisis estadístico

Para más certeza en la tabla 4.4, se presenta el análisis estadístico en ella se observa que para las 3 estaciones del grupo 2, los valores de T calculado son menores que los valores de t tabular y los valores de F calculado son menores que los valores de F tabular; en consecuencia, estadísticamente se comprueba que no existen saltos en las series de precipitaciones totales mensuales de las estaciones.

En la tabla 4.5, se presentan datos de precipitación total anual acumulada del grupo 3: Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola y la información de precipitación total anual acumulada de cada estación.

En el grafico 4.16, se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones estudiadas; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las 6 estaciones estudiadas no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Arrendamientos , Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola son consistentes, en consecuencia, no es necesario realizar el análisis estadístico

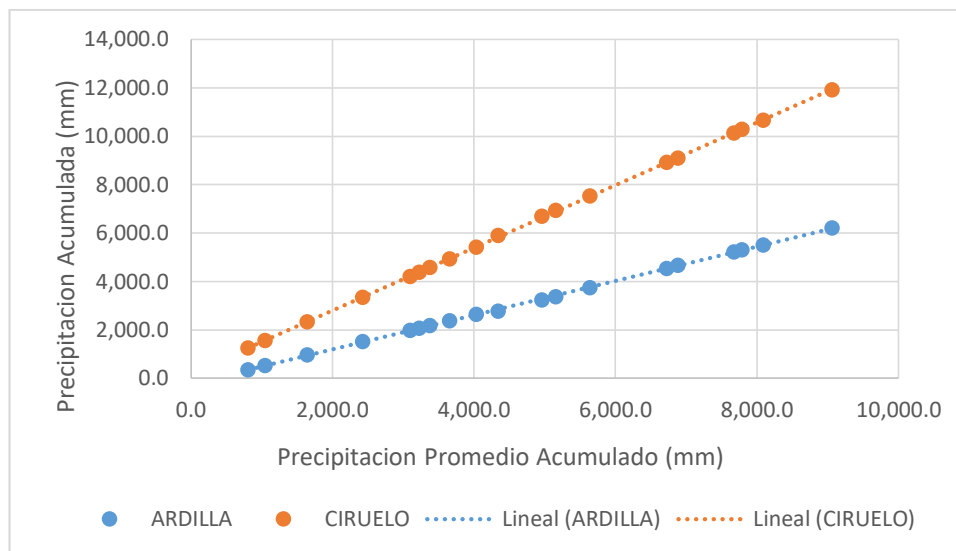
Para más certeza en la tabla 4.6, se presenta el análisis estadístico en ella se observa que para las 6 estaciones del grupo 2, los valores de T calculado son menores que los valores de t tabular y los valores de F calculado son menores que los valores de F tabular; en consecuencia, estadísticamente se comprueba que no existen saltos en las series de precipitaciones totales mensuales de las estaciones.

Tabla 4.1. Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del  
GRUPO 1: Ardilla y Ciruelo

PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)			PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)		
AÑO	ARDILLA	CIRUELO	PROMEDIO	ARDILLA	CIRUELO
1973	356.1	1255.2	805.6	356.1	1255.2
1974	176.5	302.3	1045.0	532.6	1557.4
1975	432.1	769.4	1645.8	964.7	2326.9
1976	558.5	1010.6	2430.3	1523.2	3337.4
1977	464.5	875.1	3100.1	1987.8	4212.5
1978	88.4	164.0	3226.3	2076.1	4376.5
1979	103.1	199.6	3377.7	2179.2	4576.2
1980	206.6	350.0	3656.0	2385.8	4926.2
1981	254.9	494.5	4030.8	2640.8	5420.8
1982	136.2	489.9	4343.8	2777.0	5910.7
1984	453.4	783.9	4962.5	3230.3	6694.6
1985	145.6	244.7	5157.6	3376.0	6939.3
1986	364.1	597.3	5638.4	3740.1	7536.6
1987	801.5	1375.5	6726.9	4541.6	8912.2
1988	119.0	190.8	6881.8	4660.6	9102.9
1989	553.2	1026.8	7671.7	5213.8	10129.7
1990	83.1	153.1	7789.8	5296.9	10282.8
1991	211.9	387.4	8089.5	5508.8	10670.2
1992	694.59	1251.99	9062.78	6203.35	11922.21

Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.14: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del  
GRUPO 1: Ardilla y Ciruelo



Fuente y Elaboración: Propia

Tabla 4.2 Análisis Estadístico de Precipitación Total Anual de las Estaciones del Grupo  
1: Ardilla y Ciruelo

PARAMETROS	ARDILLA		CIRUELO	
	1 periodo	2 periodo	1 periodo	2 periodo
N datos	10	9	10	9
Media	277.7	380.7	591.07	667.95
Varianza	27322	68961.2	136241.9	217462.4
Desviación Estándar Ponderada	216.6		417.7	
Desviación de los Promedios	99.52		191.91	
T calculado	1.04		0.40	
T tabular	1.73		1.73	
Conclusión	No existe salto		No existe salto	
F calculado	0.40		0.63	
F tabular	3.02		3.02	
Conclusión	No existe salto		No existe salto	

Fuente y Elaboración: Propia

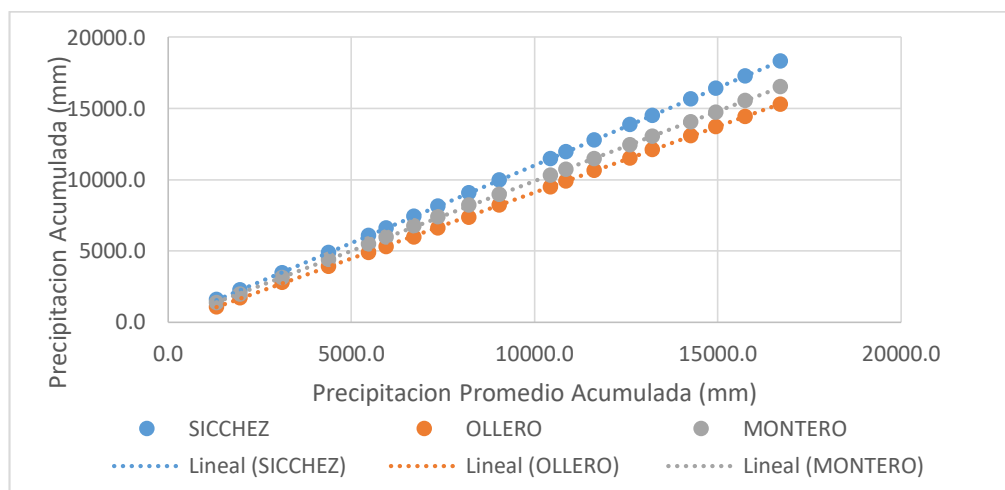
Tabla 4.3. Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del  
GRUPO 2: Sicchez, Ollero y Montero.

PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)	PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)
--------------------------------	--

AÑO	SICCHEZ	OLLERO	MONTERO	PROMEDIO	SICCHEZ	OLLERO	MONTERO
1973	1573.6	1057.7	1346.0	1325.7	1573.6	1057.7	1346.0
1974	665.5	622.7	606.9	1957.5	2239.1	1680.4	1952.9
1975	1222.9	1101.2	1156.6	3117.7	3461.9	2781.6	3109.5
1976	1408.5	1109.9	1269.3	4380.2	4870.4	3891.5	4378.8
1977	1196.6	965.1	1095.9	5466.1	6067.0	4856.6	5474.8
1978	523.4	431.9	487.9	5947.2	6590.4	5288.5	5962.7
1979	830.8	677.4	767.4	6705.7	7421.1	5965.9	6730.0
1980	707.6	621.1	654.6	7366.8	8128.7	6587.0	7384.7
1981	925.7	741.1	833.9	8200.4	9054.4	7328.2	8218.6
1982	926.3	863.2	721.0	9037.2	9980.7	8191.4	8939.6
1984	1497.2	1303.4	1370.6	10427.6	11478.0	9494.8	10310.1
1985	465.0	411.5	408.1	10855.9	11943.0	9906.3	10718.2
1986	847.1	724.7	753.1	11630.8	12790.1	10631.0	11471.3
1987	1058.9	884.9	965.4	12600.6	13849.0	11515.9	12436.8
1988	654.7	590.4	594.6	13213.8	14503.7	12106.3	13031.4
1989	1142.8	971.1	1030.0	14261.8	15646.5	13077.4	14061.4
1990	741.1	639.3	667.9	14944.5	16387.6	13716.7	14729.3
1991	893.1	691.0	816.6	15744.8	17280.7	14407.7	15545.9
1992	1024.0	879.3	961.5	16699.7	18304.7	15287.1	16507.4

Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.15: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del GRUPO 2: Sicchez, Ollero y Montero.



Fuente y Elaboración: Propia

Tabla 4.4 Análisis Estadístico de Precipitación Total Anual de las Estaciones del GRUPO 2: Sicchez, Ollero y Montero

PARAMETROS	ARDILLA		CIRUELO		MONTERO	
	1 periodo	2 periodo	1 periodo	2 periodo	1 periodo	2 periodo

N datos	10	9	10	9	10	9
Media	998.1	924.9	819.1371	788.41	894.0	840.87
Varianza	116473	91020.9	55352.1	66652.9	89897.0	79065.1
Desviación Estándar Ponderada	323.3		246.3		291.2	
Desviación de los Promedios	148.53		113.17		133.80	
T calculado	0.49		0.27		0.40	
T tabular	1.73		1.73		1.73	
Conclusión	No existe salto		No existe salto		No existe salto	
F calculado	1.28		0.83		1.14	
F tabular	3.02		3.02		3.02	
Conclusión	No existe salto		No existe salto		No existe salto	

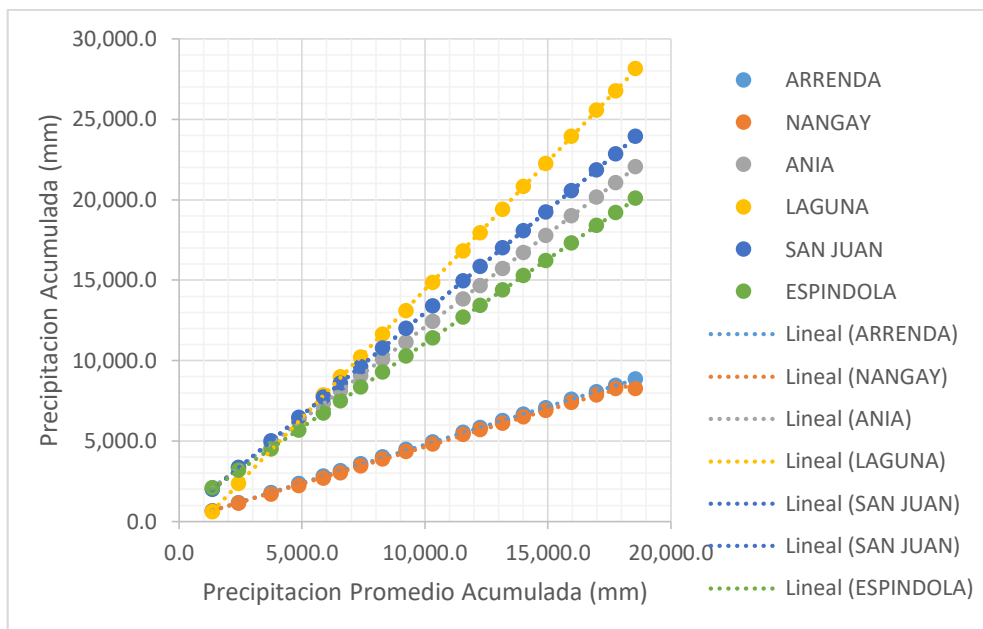
Fuente y Elaboración: Propia

Tabla 4.5. Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del  
GRUPO 3: Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola

PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)							PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)						
AÑO	ARREND	NANGAY	ANIA	LAGUNA	SAN JUAN	ESPINDOLA	PROMEDIO	ARREND	NANGAY	ANIA	LAGUNA	SAN JUAN	ESPINDOLA
1973	668.0	627.6	2,092.4	599.9	1,987.1	2,106.1	1,346.8	668.0	627.6	2,092.4	599.9	1,987.1	2,106.1
1974	500.8	499.5	1,269.1	1,751.1	1,376.3	1,092.0	2,428.3	1,168.8	1,127.1	3,361.5	2,351.0	3,363.4	3,198.1
1975	635.6	578.5	1,515.4	2,160.5	1,656.7	1,318.5	3,739.2	1,804.4	1,705.6	4,876.9	4,511.5	5,020.2	4,516.6
1976	547.1	535.3	1,318.5	1,816.1	1,446.7	1,176.7	4,879.3	2,351.5	2,240.9	6,195.4	6,327.6	6,466.9	5,693.3
1977	473.4	464.5	1,145.2	1,543.7	1,253.9	1,048.9	5,867.5	2,824.9	2,705.4	7,340.6	7,871.3	7,720.8	6,742.2
1978	346.2	330.5	793.4	1,110.6	890.5	747.4	6,570.6	3,171.1	3,035.9	8,134.0	8,981.9	8,611.4	7,489.6
1979	415.5	410.1	911.6	1,247.8	1,027.8	879.1	7,386.0	3,586.6	3,446.0	9,045.5	10,229.7	9,639.2	8,368.7
1980	426.3	432.0	1,041.8	1,402.0	1,151.6	938.3	8,284.6	4,012.9	3,878.0	10,087.3	11,631.7	10,790.8	9,307.0
1981	461.4	459.2	1,076.8	1,485.8	1,214.1	995.6	9,233.4	4,474.2	4,337.2	11,164.1	13,117.5	12,004.8	10,302.6
1982	472.6	481.6	1,283.5	1,754.5	1,413.5	1,127.1	10,322.2	4,946.8	4,818.8	12,447.6	14,872.0	13,418.3	11,429.7
1984	597.0	583.2	1,396.3	1,942.2	1,555.2	1,290.0	11,549.5	5,543.8	5,402.0	13,843.9	16,814.2	14,973.5	12,719.7
1985	310.9	299.5	815.1	1,127.1	871.9	726.4	12,241.4	5,854.8	5,701.5	14,659.0	17,941.3	15,845.5	13,446.1
1986	422.9	417.9	1,066.6	1,465.0	1,165.3	950.3	13,156.0	6,277.7	6,119.3	15,725.6	19,406.3	17,010.8	14,396.3
1987	399.1	373.7	996.8	1,419.9	1,052.8	897.6	14,012.7	6,676.8	6,493.1	16,722.4	20,826.2	18,063.6	15,293.9
1988	406.4	410.9	1,066.7	1,441.1	1,169.5	918.1	14,914.8	7,083.2	6,904.0	17,789.1	22,267.4	19,233.1	16,212.0
1989	517.7	499.1	1,208.0	1,676.0	1,338.3	1,104.4	15,972.1	7,600.9	7,403.1	18,997.1	23,943.4	20,571.3	17,316.5
1990	477.7	474.3	1,180.4	1,614.6	1,301.0	1,077.6	16,993.0	8,078.6	7,877.4	20,177.5	25,558.0	21,872.3	18,394.1
1991	384.9	384.1	889.5	1,207.7	989.3	819.2	17,772.1	8,463.5	8,261.5	21,067.1	26,765.6	22,861.6	19,213.3
1992	400.1	377.5	979.6	1,402.5	1,078.0	871.6	18,623.6	8,863.6	8,639.0	22,046.7	28,168.1	23,939.6	20,084.9

Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.16: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del  
GRUPO 3: Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola



Fuente y Elaboración: Propia

Tabla 4.6 Análisis Estadístico de Precipitación Total Anual de las Estaciones del  
GRUPO 3: Arrendamientos, Nangay, Ania, Laguna, San Juan y Espíndola

PARAMETROS	ARRENDATARIOS		NANGAY		ANIA	
	1 periodo	2 periodo	1 periodo	2 periodo	1 periodo	2 periodo
N datos	10	9	10	9	10	9
Media	494.7	435.2	481.88	424.47	1214.8	1066.56
Varianza	9748	7033.2	7232.4	6938.4	85089.5	31083.9
Desviación Estándar Ponderada	92.0		84.2		244.3	
Desviación de los Promedios	42.29		38.70		112.24	
T calculado	1.41		1.48		1.32	
T tabular	1.73		1.73		1.73	
Conclusión	No existe salto		No existe salto		No existe salto	
F calculado	1.39		1.04		2.74	
F tabular	3.02		3.02		3.02	
Conclusión	No existe salto		No existe salto		No existe salto	

Fuente y Elaboración: Propia

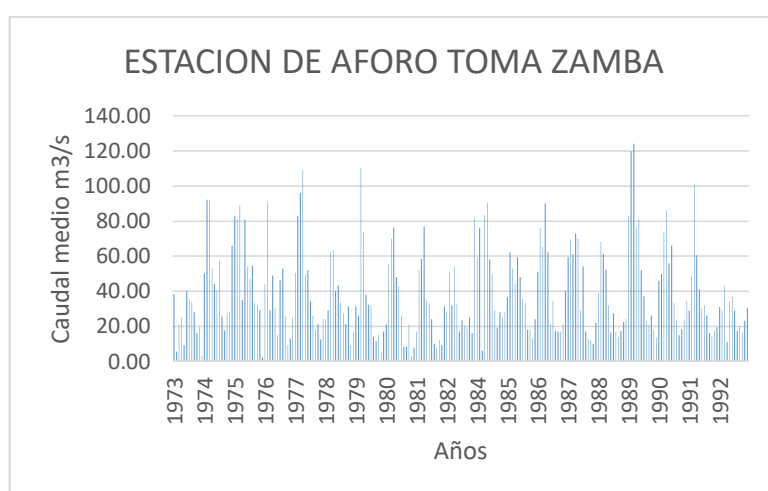
#### 4.3.1 Del análisis e los caudales del rio Quiroz

Este análisis se realizó para comprobar si existen o no saltos en la serie históricas de caudales medios mensuales en la estación Toma Zamba.

#### a. Análisis visual de hidrogramas

El periodo de registro de la información hidrométrica, varía desde el año 1973 al 1992, los cuales se presentan en el grafico 4.17, los cuales en promedio son homogéneos con un mínimo de 2m<sup>3</sup>/s y un máximo de 124m<sup>3</sup>/s.

Grafico 4.17: Hidrograma de caudal medio mensual (m<sup>3</sup>)-Estación de aforo Toma Zamba – periodo (1973-1992)



Fuente y Elaboración: Propia

#### 4.3.2 De la precipitación areal media mensual por el polígono de Thiessen

En la tabla 4.8 se presenta el promedio multianual de la precipitación total mensual (periodo 1964 a 2007) correspondiente a las estaciones; así mismo en el grafico 4.18, se muestra la variación de la precipitación media en cada estación, siendo la estación sicchez la que tiene mayores valores respecto a las demás estaciones y la estación ardilla con valores mínimos.

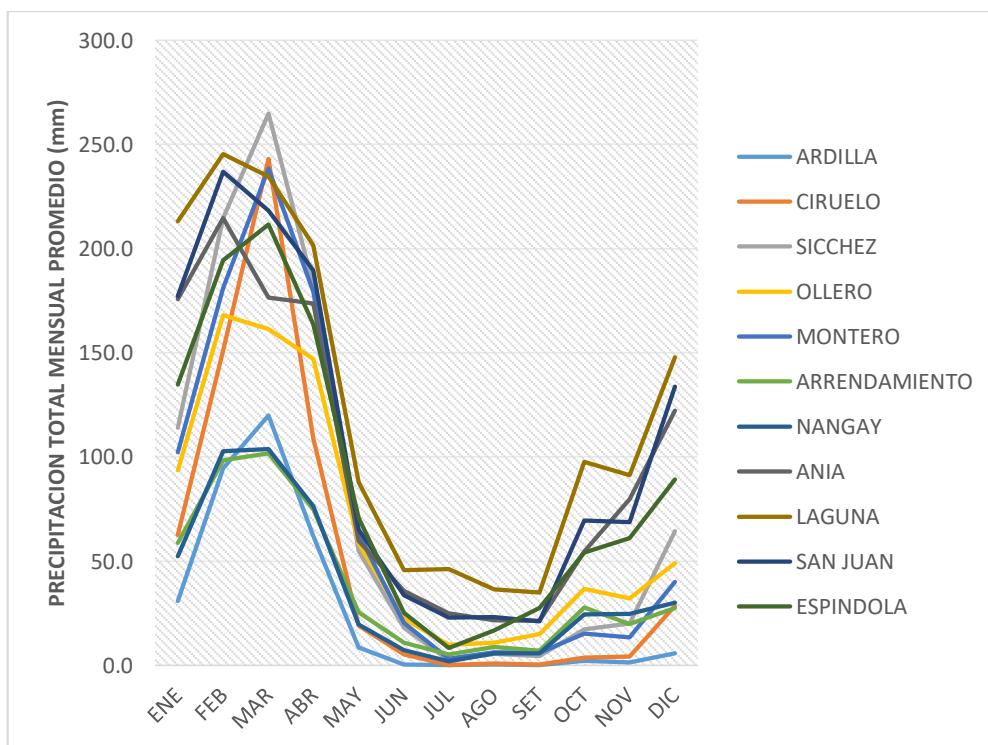
En la tabla nos muestra el comportamiento uniforme durante un año hidrológico, se puede apreciar un periodo seco de mayo a noviembre; en donde el rango de precipitación varía de 11.4 mm a 48.4 mm y para el otro periodo húmedo de diciembre a abril, cuyo rango de precipitación varía entre 67.1mm a 188.6 mm.

Tabla 4.7: Precipitación total mensual promedio de las estaciones 1973-1992

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ARDILLA	30.9	94.5	120.0	62.0	8.7	0.5	0.0	0.3	0.1	2.2	1.5	5.9
CIRUELO	62.5	151.1	243.0	108.9	19.0	5.1	0.2	0.9	0.5	3.8	4.1	28.5
SICCHEZ	114.1	214.7	264.9	182.3	54.9	18.0	2.5	5.6	4.6	17.4	20.1	64.4
OLLERO	93.5	168.1	161.3	147.0	58.5	22.4	9.9	10.9	15.0	36.8	32.2	48.9
MONTERO	102.3	181.2	238.5	179.2	63.0	20.4	3.3	6.4	5.9	15.3	13.4	40.0
ARRENDAMIENTO	58.8	98.4	101.7	74.9	25.3	11.0	5.3	8.8	6.9	27.9	20.0	27.5
NANGAY	52.3	102.9	103.9	76.5	19.5	7.2	1.8	5.8	5.7	24.4	24.8	30.0
ANIA	175.6	214.6	176.6	173.6	59.8	35.6	25.0	21.7	21.4	54.5	79.8	122.1
LAGUNA	213.1	245.3	234.6	201.7	87.8	45.7	46.1	36.4	35.0	97.7	91.2	147.7
SAN JUAN	177.2	236.9	218.2	189.5	65.2	33.6	22.8	23.1	21.1	69.6	68.9	133.9
ESPINDOLA	134.7	194.4	211.5	163.6	70.7	25.3	8.3	16.7	27.5	54.0	61.1	89.2
<b>PROMEDIO</b>	<b>110.5</b>	<b>172.9</b>	<b>188.6</b>	<b>141.8</b>	<b>48.4</b>	<b>20.4</b>	<b>11.4</b>	<b>12.4</b>	<b>13.1</b>	<b>36.7</b>	<b>37.9</b>	<b>67.1</b>

Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.18: Precipitación total mensual promedio



Fuente y Elaboración: Propia

Tabla 4.8: Precipitación Media Anual – Método de Thiessen



	ESTACION	AREA	PRECIP	A * P
1	ARDILLA	0	326.49209	0.0
2	CIRUELO	0	627.48497	0.0
3	SICCHEZ	32.8	963.40409	31597.2
4	OLLEROS	388.0	804.58206	312141.6
5	MONTERO	1099.2	868.81179	954971.9
6	ARRENDAMIENTO	139.7	466.50292	65147.6
7	NANGAY	504.1	454.68587	229197.6
8	ANIA	256.1	1160.3501	297110.0
9	LAGUNA SECA	133.1	1482.5319	197388.7
10	SAN JUAN	520.9	1259.9768	656359.7
11	ESPINDOLA	60.9	1057.0976	64418.4
	TOTAL	3134.72		2808332.7
<b>PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm/año)</b>				<b>895.88</b>

Fuente y Elaboración: Propia

#### 4.4 DE LA GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

Para el presente trabajo se ha desarrollado el modelo en toda la sub cuenca del Rio Quiroz en base a la precipitación mensual obtenida sobre la cuenca.

##### 4.4.1 Temperatura media mensual en la cuenca

Se presenta los valores de las temperaturas media promedia mensual de la estación Ayabaca la misma que se ubica en la sub cuenca del rio Quiroz con ubicación geográfica Lat. 04°37'57 Long. 79°42'49 y una altitud de 2720 msnm, para el periodo 1973-1992. La cual tiene una temperatura mínima de 10.3 °C y máxima de 14.5 °C para los meses de febrero y junio respectivamente y una temperatura promedio anual de 12.8°C.

##### 4.4.2 Evapotranspiración Potencial

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el método de PENNMAN-MODIFICADO –FAO se presente en la tabla 4.9.; para ello se ha considerado los datos de la estación meteorológica Ayabaca que tiene una ubicación geográfica, Latitud 04°37'57, Longitud 79°42'49 y Altitud 2700 msnm.

Tabla 4.9 Resultados de la Evapotranspiración Potencial (mm/mes)

<b>MÉTODO DE PENNMAN MODIFICADO - FAO</b>												
<b>Variable</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
T° Máx (°C)	13.90	14.00	13.90	13.70	13.80	14.50	13.90	13.90	14.10	13.80	13.50	13.70
T° Mín (°C)	10.80	10.30	10.50	12.20	12.00	11.80	11.70	12.20	12.20	11.80	11.80	10.80
HR (%)	89	91	89	88	83	77	71	69	74	80	80	85
Vv (km/día)	314	314	318	287	298	373	448	444	397	334	326	314
Insolación (hr)	7.3	7.6	7.2	7.0	6.1	4.6	4.0	4.3	5.6	6.5	6.5	6.7
Eto (mm/día)	2.85	2.86	2.82	2.76	2.60	2.61	2.87	3.14	3.20	3.11	3.07	2.86
Eto (mm/mes)	88	80	87	83	81	78	89	97	96	96	92	89
<b>Eto (mm/año)</b>	<b>1,057</b>											

Fuente y Elaboración: Propia

#### 4.4.3 Coeficiente de escurrimiento

Los resultados de la estimación del coeficiente de escurrimiento y déficit de escurrimiento según la fórmula de L. Turc, se presentan en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 : Resultados del Coeficiente de Escurrimiento – Método L.Turc

<b>PARAMETRO</b>		<b>VALOR</b>
PRECIPITACION TOTAL ANUAL PROMEDIO (mm/año)	P	895.9
TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	T	12.8
COEFICIENTE DE TEMPERATURA	L	723.7
DIFICIT DE ESCURRIMIENTO (mm/año)	D	574.4
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	C	0.36

Fuente y Elaboración: Propia

Considerando las ecuaciones para determinar los coeficientes de escurrimiento y déficit de escurrimiento valido para la región de la sierra del Perú, los resultados se presentan en la tabla 4.11.

Tabla 4.11 : Resultados del Coeficiente de Escurrimiento – Método Empírico

<b>PARAMETRO</b>		<b>VALOR</b>
PRECIPITACION TOTAL ANUAL PROMEDIO (mm/año)	P	895.9

ETP (mm/año) PENNMAN	EP	1057.0
DIFICIT DE ESCURRIMIENTO (mm/año)	D	492.1
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	C	0.46

Fuente y Elaboración: Propia

Los valores de coeficiente de escurrimiento (C) calculados mediante el método de Turc y el método empírico para la sierra del Perú, varía de 0.36 a 0.46, respectivamente, mientras que los valores de déficit de escurrimiento (D), varía entre 492.1 a 574.4 mm/año, respectivamente. Estos valores nos servirán de referencia para la aplicación del modelo.

#### 4.4.4 Precipitación efectiva

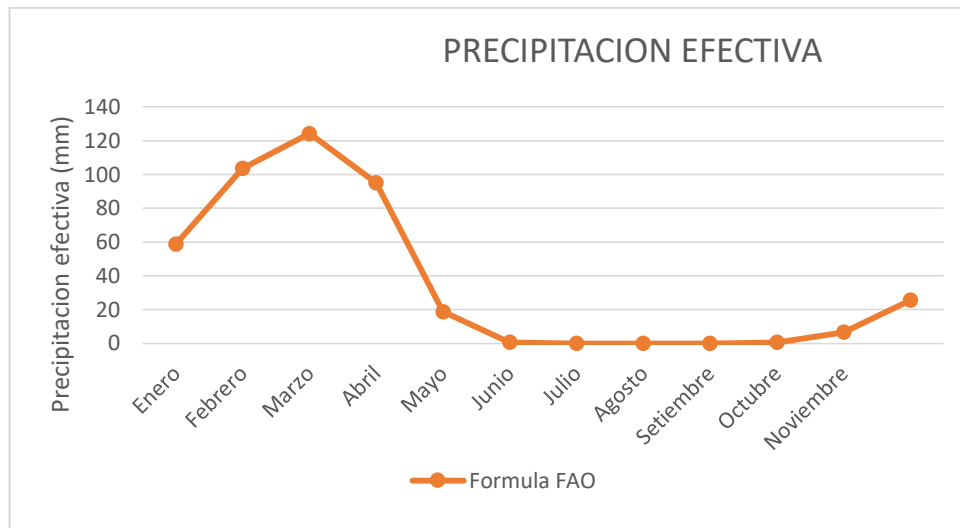
Para el cálculo de la precipitación efectiva se ha realizado mediante el método de la FAO ello se muestra en la tabla 4.12 Y según el grafico 4.19 Se muestra la curva de precipitación efectiva para todos los meses del año.

Tabla 4.12 Precipitación Efectiva (mm)

Precipitación Efectiva (mm)		
MES	Precipitación Promedio	Formula FAO
Enero	115.10	68.80
Febrero	178.61	119.01
Marzo	192.36	130.30
Abril	156.00	101.19
Mayo	54.99	23.92
Junio	22.67	7.25
Julio	10.88	1.86
Agosto	12.46	2.44
Setiembre	12.48	1.72
Octubre	36.51	13.01
Noviembre	36.78	14.17
Diciembre	67.04	33.81
<b>Total</b>	<b>895.9</b>	<b>517.5</b>

Fuente y Elaboración: Propia

Grafico 4.19 Precipitación Efectiva



Fuente y Elaboración: Propia

#### 4.4.5 Retención de la cuenca

Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo, además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual; tienen en consideración la formula

$$CMi \left( \frac{mm}{mes} \right) = PEi - Ai$$

Donde:

CMi: caudal medio mensual (mm/mes)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Q</b>	53.81	68.98	81.82	75.61	61.18	46.14	45.33	31.17	21.77	24.72	20.18	33.49

PEi: precipitación efectiva promedio (mm/mes)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>P.E.P</b>	68.803	119.01	130.3	101.2	23.92	7.25	1.862	2.436	1.717	13.01	14.17	33.81

Ai: abastecimiento de la retención (mm/mes)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Ai=Q-P</b>	15.00	50.03	48.48	25.58								0.32
<b>ΣAi=Ri</b>	<b>139.41</b>											

Se obtiene una retención anual de 139.41 mm/año

#### 4.4.6 Coeficiente de agotamiento

Debido a las características de la cuenca se obtiene que el coeficiente de agotamiento “a” tiene un valor de 0.0027.

#### 4.4.7 Relación de caudales

Considerando el coeficiente de agotamiento y el número de los días del mes, la relación de caudales (go), a partir de la formula empírica propuesta en el capítulo anterior, se obtiene un valor de 0.919.

#### 4.4.8 Gasto de la retención

Los resultados de la contribución mensual de la estación seca, estimados con las formulas empíricas correspondientes, se presenta en la siguiente tabla 4.13 No se considera los meses de avenidas que son diciembre, enero, febrero, marzo, abril.

Tabla 4.13 Gasto de la retención mensual (mm/mes)

MES	N	GASTO		
		bo	bi	Gi(mm/mes)
ENERO	31			
FEB	30			
MAR	31			
ABRIL	30			
MAY	31	0.9193	0.92	25.15
JUN	30	0.9218	0.85	23.25
JUL	31	0.9193	0.78	21.26
AGO	31	0.9193	0.71	19.54
SEP	30	0.9218	0.67	18.21
OCT	31	0.9193	0.60	16.52
NOV	30	0.9218	0.57	15.48
DIC	31			
<b>AÑO</b>			<b>5.10</b>	<b>139.41</b>

Fuente y Elaboración: Propia

#### 4.4.9 Abastecimiento de la retención

Los resultados de cálculo de la lámina de abastecimiento durante la época lluviosa para la zona en estudio, se presenta en la siguiente tabla. Para la calibración se ha modificado los coeficientes en % de cada mes.

Tabla 4.14 Almacenamiento hídrico durante la época de la lluvia

MES	N	GASTO	
		ai	Ai (mm/mes)
ENERO	31	0.1076	14.998
FEB	30	0.3588	50.026
MAR	31	0.3478	48.482
ABRIL	30	0.1835	25.581
MAY	31		
JUN	30		
JUL	31		
AGO	31		
SEP	30		
OCT	31		
NOV	30		
DIC	31	0.0023	0.324
<b>AÑO</b>		<b>1</b>	<b>139.41</b>

Fuente y Elaboración: Propia

#### 4.4.10 Generación de caudales mensuales para un año promedio

Los resultados de la generación de caudales mensuales para un año promedio se presentan en la tabla 4.16, en ella se observa una variación de los caudales mensuales durante el año

Tabla 4.15: Resultados de la generación de caudales mensuales para el año promedio (m<sup>3</sup>/s)

No. DIAS	MES	PRECIPITACION (mm)		CONTRIBUCION DE RETENCION				Q.GENERADO	
		MEDIA (mm)	EFECTIVA (mm)	GASTO		ABASTECIMIENTO		Cmi (mm/mes)	QGe (m3/s)
				gi	Gi	ai	Ai		
31	ENE	115.1	68.80			0.11	15.00	53.81	43.22
28	FEB	178.6	119.01			0.36	50.03	68.98	61.35
31	MAR	192.4	130.30			0.35	48.48	81.82	65.73
30	ABR	156.0	101.19			0.18	25.58	75.61	62.76
31	MAY	55.0	23.92	0.92	25.15			49.08	39.42
30	JUN	22.7	7.25	0.85	23.25			30.50	25.32
31	JUL	10.9	1.86	0.78	21.26			23.12	18.57
31	AGO	12.5	2.44	0.71	19.54			21.98	17.66
30	SET	12.5	1.72	0.67	18.21			19.93	16.54
31	OCT	36.5	13.01	0.60	16.52			29.52	23.72
30	NOV	36.8	14.17	0.57	15.48			29.64	24.61
31	DIC	67.0	33.81			0.00	0.32	33.49	26.90
<b>TOTAL</b>		<b>895.9</b>	<b>517.48</b>	<b>5.095</b>	<b>139.41</b>	<b>1.00</b>	<b>139.41</b>	<b>517.48</b>	<b>425.79</b>

Fuente y Elaboración: Propia

Para la generación de caudales para el año promedio, se tiene en cuenta que

$$C_{Mi} \left( \frac{mm}{mes} \right) = P_{Ei} + G_i - A_i$$

#### 4.5 GENERACIÓN DE CAUDALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS

#### 4.5.1 Precipitación efectiva de la cuenca

Para la generación de caudales para periodos extendidos, primero se tiene que determinar la precipitación efectiva de la cuenca a partir de la precipitación media determinado mediante el método de Thiessen para la sub cuenca del río Quiroz.

Tabla 4.16 Precipitación Efectiva (mm/mes) generada

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	201.0	247.1	268.2	251.3	95.9	28.6	15.4	18.1	24.7	19.4	32.7	115.3
1974	96.2	210.6	134.3	94.7	25.9	34.0	28.0	9.0	15.1	34.0	81.9	63.9
1975	71.4	277.4	248.2	197.0	94.2	97.8	32.9	56.3	6.8	65.6	30.4	14.5
1976	190.7	234.0	310.5	169.2	54.4	26.0	12.9	30.1	8.8	15.5	35.1	68.6
1977	202.2	213.8	218.5	202.8	37.5	46.0	0.5	1.5	19.4	14.7	6.7	36.2
1978	39.2	121.6	145.5	117.1	50.9	21.0	8.8	6.0	9.5	20.0	6.3	27.2
1979	135.3	119.1	261.1	155.5	21.9	1.2	1.2	19.2	17.5	13.9	1.1	14.2
1980	77.2	135.4	121.7	205.9	49.9	1.3	3.9	0.8	2.0	36.7	60.5	61.2
1981	56.0	179.3	280.3	139.1	25.6	16.4	9.2	9.9	4.4	39.0	24.7	76.5
1982	82.1	117.2	57.6	130.5	63.4	0.3	2.7	1.2	14.5	70.9	84.5	279.2
1984	84.7	359.8	285.2	189.9	58.0	48.3	16.3	7.6	29.3	76.8	56.1	45.9
1985	122.5	58.8	104.1	33.0	67.7	2.8	1.7	22.4	10.3	18.6	13.0	79.6
1986	148.1	177.3	78.3	175.4	46.2	1.3	4.5	10.1	12.5	36.4	40.8	79.0
1987	134.5	100.5	225.4	167.7	100.3	6.3	31.4	6.1	1.7	30.4	42.8	24.0
1988	125.9	204.9	43.0	141.5	37.2	4.5	12.2	1.3	11.5	17.3	45.2	88.6
1989	235.1	220.6	238.1	121.7	38.0	28.5	0.6	3.7	12.8	88.3	1.8	21.0
1990	74.2	139.7	140.8	182.2	78.0	16.4	4.2	0.6	8.1	38.9	59.2	78.5
1991	42.5	149.4	296.9	92.8	45.4	21.3	3.6	11.0	4.5	14.1	39.7	43.3
1992	68.3	127.2	197.2	196.7	54.3	28.8	16.8	21.6	23.7	43.1	36.2	57.0
<b>MAX</b>	<b>235.1</b>	<b>359.8</b>	<b>310.5</b>	<b>251.3</b>	<b>100.3</b>	<b>97.8</b>	<b>32.9</b>	<b>56.3</b>	<b>29.3</b>	<b>88.3</b>	<b>84.5</b>	<b>279.2</b>
<b>PROM</b>	<b>115.1</b>	<b>178.6</b>	<b>192.4</b>	<b>156.0</b>	<b>55.0</b>	<b>22.7</b>	<b>10.9</b>	<b>12.5</b>	<b>12.5</b>	<b>36.5</b>	<b>36.8</b>	<b>67.0</b>
<b>MIN</b>	<b>39.2</b>	<b>58.8</b>	<b>43.0</b>	<b>33.0</b>	<b>21.9</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>1.7</b>	<b>13.9</b>	<b>1.1</b>	<b>14.2</b>

#### 4.5.2 Números aleatorios



En el presente trabajo se generó los números aleatorios normalmente distribuidos con media igual a cero y desviación estándar igual a 1. Las cuales se presentan a continuación.

Tabla 4.17: Números Aleatorios

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1973	-1.63	-0.78	0.89	0.44	1.37	-1.49	-0.12	0.53	-0.29	0.21	-1.04	0.93
1974	0.33	-0.36	-0.34	-0.37	2.20	1.20	0.17	0.37	0.61	1.69	-1.36	-1.58
1975	-1.00	1.65	-0.27	0.87	-0.65	0.10	-1.01	-0.27	0.06	0.78	-2.10	1.27
1976	-1.02	-0.78	-0.06	2.12	-0.77	1.61	0.75	0.89	-1.95	-0.80	-0.71	0.55
1977	-0.70	0.20	1.39	0.88	-1.63	-0.96	2.02	0.13	1.23	-2.14	0.64	-0.99
1978	2.47	-1.28	0.65	-1.46	-0.36	-1.85	0.86	-0.18	-0.41	1.79	-0.26	0.03
1979	-0.14	0.64	-0.46	-0.29	0.21	0.97	-1.64	0.00	-0.34	-1.40	0.33	0.15
1980	0.28	0.65	0.26	-0.19	0.64	1.72	0.82	-0.35	-0.80	-1.34	-0.20	-0.31
1981	0.36	2.37	-0.33	1.40	0.66	0.66	-1.07	0.77	0.96	1.25	-0.66	-0.17
1982	1.25	0.54	0.27	0.21	-1.42	-0.05	0.44	-0.68	0.16	-0.14	1.24	-1.15
1984	0.29	-0.57	-0.58	0.03	1.25	0.90	0.00	0.28	0.58	0.96	-0.14	-0.15
1985	-0.20	0.42	0.41	-0.88	-0.17	-0.01	0.13	-0.70	-0.45	1.85	0.64	0.53
1986	-0.32	-1.89	0.07	0.40	1.04	0.53	0.91	-2.53	0.56	0.42	-0.12	-1.29
1987	0.84	-0.68	-0.41	1.83	-0.71	1.18	-0.57	-0.10	-0.87	-0.07	1.47	-1.72
1988	0.21	0.82	0.61	0.04	-1.88	-0.22	-0.48	0.03	0.09	-1.08	-0.73	1.66
1989	-0.85	0.26	-0.32	-0.46	0.02	1.38	-1.36	-1.95	-0.07	-2.43	-0.49	0.15
1990	-1.17	0.34	0.46	1.10	0.45	0.22	1.83	0.13	1.30	-0.89	0.98	-0.35
1991	1.54	-0.02	-0.75	0.20	-1.15	-0.31	-0.43	0.58	-1.26	1.21	0.22	-0.70
1992	0.71	-2.00	0.00	0.26	-0.73	-0.32	0.96	-0.23	0.17	0.59	1.65	1.50
											<b>Media</b>	<b>0.0</b>
											<b>Desvest</b>	<b>1.0</b>

#### 4.5.3 Descargas medias mensuales generadas

Para determinar los parámetros B1, B2, B3, r y S, sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante el cálculo de regresión  $Q_t$  como valor dependiente y  $Q_{t-1}$  y  $PE_t$ , como valores independientes, los datos de las variables se presentan a continuación:

Tabla 4.18: Datos de la variable dependiente e independiente

<b>Qt</b> (mm)	<b>Qt-1</b> (mm)	<b>PEt</b> (mm)
53.806	33.485	68.80
68.981	53.806	119.01
81.823	68.981	130.30
75.613	81.823	101.19
49.077	75.613	23.92
30.500	49.077	7.25
23.120	30.500	1.86
21.979	23.120	2.44
19.929	21.979	1.72
29.524	19.929	13.01
29.643	29.524	14.17
33.485	29.643	33.81
517.479	517.479	517.479

Donde:

$Q_t$  = Caudal del mes t

$Q_{t-1}$  = Caudal del mes anterior

$PE_t$  = Precipitación efectiva del mes

Luego de realizar la regresión lineal múltiple se obtuvo los siguientes resultados:

Coefficiente de la regresión lineal múltiple  $B_1 = 14.57565$

Coefficiente de la regresión lineal múltiple  $B_2 = 0.317459$

Coefficiente de la regresión lineal múltiple  $B_3 = 0.344541$

Error estándar de la regresión múltiple  $S = 2.954468$

Coefficiente de determinación  $r^2 = 0.991029$

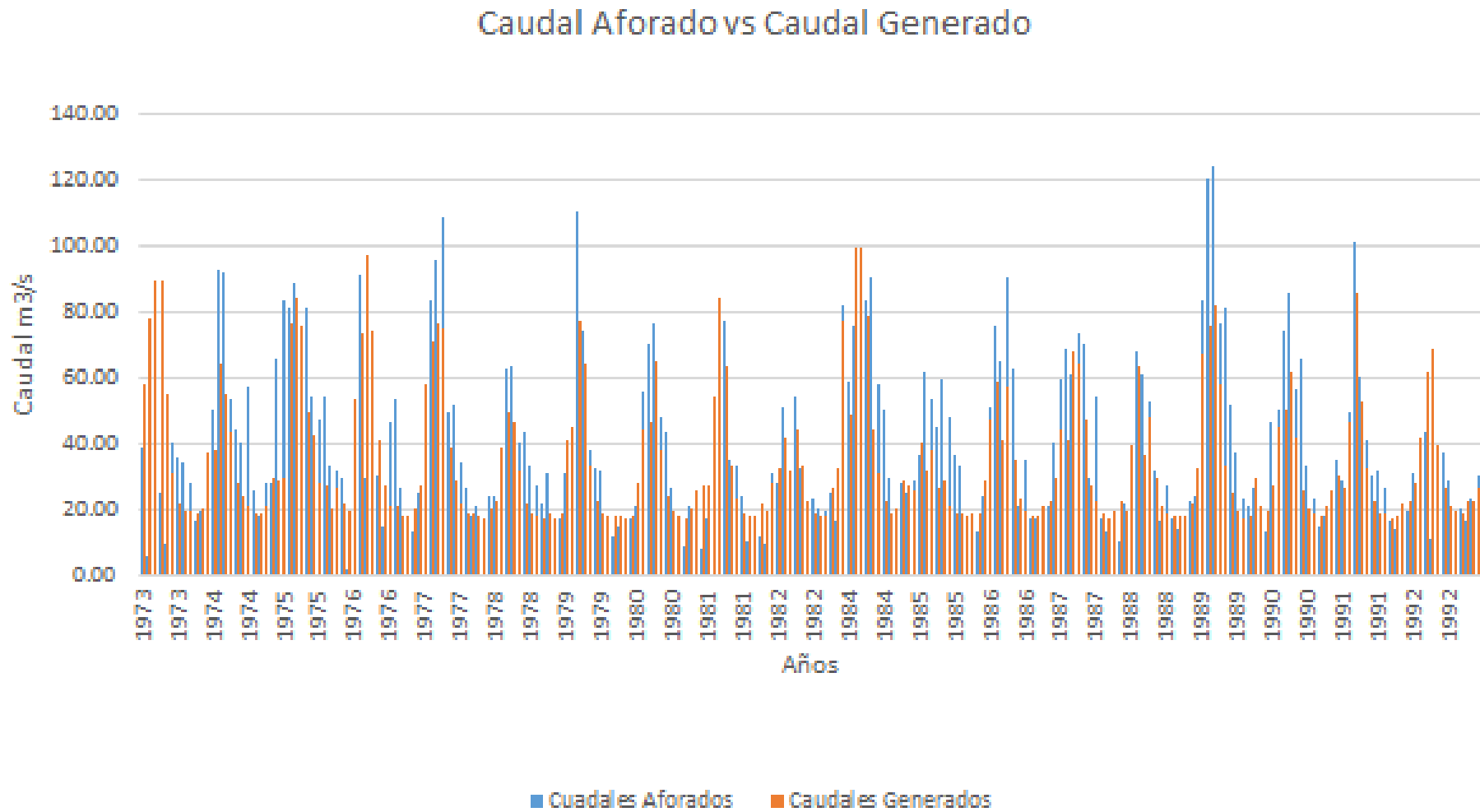
$$Q_t = 14.57565 + (0.317459 * Q_{t-1}) + (0.344541 * PE_t) + (2.954468 * (1 - (0.991029)^2)^{1/2} * Z)$$

Considerando la ecuación para la generación de caudales mensuales del río Quiroz, en donde están en función de los coeficientes de la regresión lineal múltiple, error estándar de la regresión múltiple, coeficiente de correlación múltiple, precipitación efectivo y caudales del mes anterior, a continuación, se presenta la serie de descargas medias mensuales (mm) generadas para la subcuenca del río Quiroz.

Tabla 4.19: Descargas medias mensuales generados (mm/mes) – subcuenca río Quiroz

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1973	72.2	97.5	110.6	111.4	68.3	38.9	28.2	24.1	23.6	23.1	24.7	46.0
1974	47.5	79.9	68.8	54.7	33.6	28.7	26.9	23.3	22.4	25.0	37.5	37.0
1975	37.4	94.9	104.6	93.9	62.5	53.5	35.1	33.9	25.2	33.0	28.3	24.0
1976	65.7	91.6	121.2	92.4	51.8	32.5	25.3	25.1	22.5	22.2	25.0	33.6
1977	73.3	88.6	94.9	91.8	47.9	35.7	25.8	23.3	23.2	22.9	22.3	25.9
1978	27.7	48.3	60.8	58.1	39.4	27.3	23.6	22.4	22.0	22.2	21.8	23.9
1979	51.2	55.1	96.1	78.6	40.4	26.7	22.7	22.5	22.8	22.6	20.7	21.4
1980	34.7	55.0	56.8	80.8	47.0	29.3	23.8	21.7	20.8	25.5	32.1	33.7
1981	33.4	66.2	104.7	78.3	41.9	28.2	23.3	22.4	21.6	26.5	25.1	34.9
1982	40.3	51.6	39.3	55.4	41.5	27.5	23.4	22.3	22.4	32.9	39.4	95.2
1984	59.9	125.0	124.7	97.8	54.2	38.2	27.7	23.3	24.9	35.5	35.1	31.2
1985	50.4	39.2	47.1	32.6	35.9	26.2	23.2	23.5	22.6	22.0	22.1	35.6
1986	58.2	73.3	51.3	70.6	42.9	28.4	23.0	22.1	22.4	25.6	27.5	36.2
1987	54.6	50.7	84.4	79.1	58.7	33.1	27.9	23.2	22.0	24.6	27.7	24.9
1988	48.9	78.0	44.3	59.3	37.3	26.6	23.6	22.0	21.7	21.7	27.1	39.7
1989	83.7	93.8	102.1	72.5	42.2	30.7	24.8	22.3	22.0	37.7	26.6	23.9
1990	34.6	55.6	63.2	76.4	52.1	31.9	24.4	22.6	22.2	26.8	32.1	38.4
1991	32.3	56.7	106.2	66.1	42.1	29.0	23.3	21.8	21.7	22.2	26.6	27.7
1992	34.3	53.3	77.9	85.5	49.4	32.7	25.7	23.5	23.2	28.1	27.5	31.4
<b>PROM</b>	<b>49.5</b>	<b>71.3</b>	<b>82.1</b>	<b>75.5</b>	<b>46.8</b>	<b>31.8</b>	<b>25.4</b>	<b>23.4</b>	<b>22.6</b>	<b>26.3</b>	<b>27.9</b>	<b>35.0</b>

Grafico 4.20: Comparación entre caudales generados y caudales aforados



#### 4.5.4 Test Estadístico

Los resultados de las pruebas estadísticas T y F, se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 4.20: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de caudales

<b>PARAMETROS</b>	<b>Q generado</b>	<b>Q aforado</b>
Media del periodo	415.9	463.53
Desv.estandar	66.2	106.2
Variancia	4384.6	11288.4
N de datos	19	19
Valor de T calculado: Tc	1.01	
Valor de T tabular: Tt	1.73	
Valor de F calculado: Fc	1.02	
Valor de F tabular: Ft	3.02	

Fuente y Elaboración: Propia

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

1. Al realizar el análisis de consistencia de la información pluviométrica, se puede concluir que la serie histórica de la precipitación media mensual y anual registradas en las estaciones, son consistentes y homogéneas porque no presentan saltos significativos en el histograma y en el análisis de doble masa la línea de doble masa es una recta.
2. La precipitación media anual de la sub cuenca del rio Quiroz, para el periodo de 1973 a 1992, es de 895.88 mm obtenidos mediante el método de Thiessen considerando las 11 estaciones meteorológicas.
3. La evapotranspiración potencial anual calculada mediante el método de Pennman modificado es de 1057 mm, considerando los registros de la estación Ayabaca.
4. En la determinación del coeficiente de escurrimiento para la subcuenca del rio Quiroz, mediante la fórmula de Turc y el método empírico, existen diferencias en los resultados cuyos valores son de 0.36 - 0.46
5. En la serie histórica de caudales medios mensuales aforados en el rio Quiroz, para el periodo de registro de 1973-1992 varía entre 16.75 a 65.73 m<sup>3</sup>/s para los meses de noviembre y marzo respectivamente, y se tiene un caudal promedio anual de 41.25 m<sup>3</sup>/s.
6. Al realizar la correlación lineal entre los caudales generados mediante el modelo Lutz Scholz para un año promedio y los caudales aforados en la estación Toma de Zamba se obtiene un coeficiente de correlación del 92%.
7. De los resultados de la prueba estadística de consistencia de la media se puede concluir que estadísticamente las medias de los caudales generados son a la media de los caudales aforados; puesto que el valor de T calculado (1.02) es menor que el valor de T tabular (1.73); y la desviación estándar de los caudales generados

son estadísticamente iguales a la desviación estándar de los caudales aforados, dado que el valor de F calculado (1.02) es menor que F tabular (3.02).

8. La ecuación para generación de caudales extendidos es  
$$Q_t = 14.57565 + (0.317459 \times Q_{t-1}) + (0.344541 \times P_{Et}) + (2.954468 \times (1 - (0.991029^2)^{0.5} \times Z).$$
9. Con la presente investigación se puede demostrar que los caudales generados por el método Lutz Scholz, muestran buena concordancia con los caudales aforados. Por lo que el método tiene un alto grado de aceptabilidad.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

1. Realizar más estudios de determinación de caudales medios mensuales aplicando el modelo Lutz Scholz y realizar comparaciones con los resultados obtenidos en las investigaciones, para poder lograr una mejor calibración en la región Piura.
2. Realizar estudios en la sierra de Piura, realizando la identificación espacial de fuentes de agua superficial y acuíferos que permitan tener mayor información de la retención de las cuencas y faciliten la utilización del modelo hidrológico Lutz Scholz.
3. Los resultados obtenidos en la presente investigación, sirvan como referencia a las posteriores investigaciones con otros fines.
4. Motivar a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Agrícola, a la aplicación de modelos hidrológicos, para solucionar la problemática en el área de hidrología e hidráulica en la región.
5. Motivar a las instituciones públicas y/o privadas encargadas de la obtención de información que permite el desarrollo del modelo hidrológico, a apoyar a los estudiantes que se encuentren realizando investigaciones.

## **BIBLIOGRAFÍA**



- Aliaga Araujo, Vito (1985). Hidrología Estadística. McGrawill. Lima – Perú.
- Aguirre N, M. (1992). Análisis y Aplicación de Modelos Matemáticos para la Generación de caudales en cuencas de la región. Cusco.
- Aparicio M, F.J. (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie”. Editorial Limusa. México.
- Chow Ven Te (2000). Hidrología Aplicada. Normas S.A. Colombia.
- Chereque Morán Wendor (1989). Hidrología CONCYTEC Pontificia Universidad Católica del Perú; Lima – Perú.
- Casas Bautista, Luís (2002). Evaluación Hidrológica de la Microcuenca Muylo – arma. FIA-UNALM. Lima – Perú.
- Fleming, G. (1979). "Deterministic models in hydrology". FAO Rome.
- Gobierno Regional Piura (2011) “Mapa Hidrogeológico de Piura, Piura.
- Guevara Pérez Edilberto (1991). Hidrología “Una Introducción a la Ciencia” EGN Comunicaciones. Valencia Venezuela.
- Ibarra Imata, Gregorio (1990), Procesos de Transformación de Precipitación en Descargas Evaluación de un Modelo Matemático, Tesis FIA – UNALM, Lima– Perú.
- Lutz Scholz. (1980). Generación de Caudales Mensuales en la Sierra del Perú. Plan Meris II. Cuzco–Perú.
- Mejía M. Abel (2001) Hidrología Aplicada Volumen I, II, Centro de Impresiones y Publicaciones FIA. Lima–Perú.
- Monsalve, G. (1994). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- Najarro Soto, David (2015). Calibración del Modelo Lutz Scholz y Generación de Caudales Extendidos Aplicados a la Cuenca del Rio Chacco. Ayacucho.

- Ramaicuna Zurita, Denis (2017) Determinación de la oferta hídrica y propuesta de un sistema de cosecha de agua en la microcuenca huacas, comunidad campesina Arrendamientos, distrito de Laguna, Ayabaca, Tesis – FIA-UNP. Piura- Perú.
- Reyes Carrasco, Luís (1992) Hidrología Básica. CONCYTEC. Lima-Perú.
- Richard G, Allen (2006) Evapotranspiración del cultivo guía para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos, Roma.
- Salas, J. (1976) Modelos de Simulación Estocástica. CIDIAT, Mérida
- Schulze, R.E (1994) "Hydrological Models". IHE Delft
- Sovero, Félix. Modelo Matemático de Transformación “Precipitación Descarga” con Aplicación a la Cuenca del Río Huancané, Tesis-FIA-UNALM. Lima-Perú. 1991.
- Tarazona Santos, N. (2005) “Generación de descargas mensuales en sub cuencas de la cuenca del rio santa utilizando el método de Lutz Scholz., Lima-Perú.
- TICONA M, L (2008) “Generación de caudales medios por modelos determinísticos Témez y Lutz Scholz en la cuenca del rio Llave. tesis de la escuela profesional de Ingeniería Agrícola.
- Timpo Ticona, O (2012) Generación de descargas medias mensuales aplicando el modelo Lutz Scholz Para la Sub cuenca del Rio Azángaro. Tesis en Ingeniería Agrícola. Puno, Perú.
- U.N.A.L.M(1994). Meteorología General.
- Villón Bejar Máximo (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. Cartago, Costa Rica.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Data de precipitaciones totales mensuales

**ESTACION: ARDILLA****LATITUD S: 04°31′****LONGITUDW: 80°26′****ALTITUD: 150 msnm**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1973	175.9	226.9	195.1	35.8	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974	17.9	4.2	1.5	9.2	0.0	0.3	0.0	0.0	Sd	0.3	0.0	0.0
1975	2.5	31.0	153.6	10.4	11.0	1.2	0.0	1.3	0.0	7.1	0.0	0.0
1976	142.5	110.0	125.1	70.3	55.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.0	Sd	Sd
1977	7.8	129.8	237.1	31.7	0.6	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	6.9	58.6	8.6	1.5	0.7	0.0	0.0	0.6	Sd	0.0	0.9
1979	3.1	2.5	56.8	32.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
1980	0.0	2.0	108.0	72.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.6
1981	2.9	Sd	154.3	4.9	0.0	0.8	Sd	0.0	0.0	0.9	3.9	0.1
1982	0.9	Sd	0.0	20.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	15.8	14.7	80.5
1983	701.1	255.2	895.2	843.1	427.3	457.7	0.3	0.8	0.0	12.7	0.0	12.0
1984	17.0	229.9	197.8	23.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.8	0.0
1985	1.4	71.2	16.2	0.0	18.2	0.0	0.0	4.7	0.0	0.9	0.0	0.3
1986	22.1	56.5	3.9	57.9	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	2.7	0.8	12.9
1987	81.3	412.4	331.5	345.3	0.0	0.0	0.3	1.5	0.0	3.5	1.1	0.0
1988	6.8	4.8	0.0	135.9	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.7
1989	63.1	333.3	153.7	Sd	0.2	4.4	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0
1990	0.6	10.1	12.5	3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	8.7	Sd
1991	5.7	99.4	103.2	5.8	3.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	Sd
1992	11.5	193.8	456.3	266.9	81.2	0.0	0.0	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

**ESTACION: CIRUELO****LATITUD S: 04°18′****LONGITUDW: 80°09′****ALTITUD: 202 msnm**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
1974	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
1975	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
1976	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	7.1
1977	65.1	218.0	496.6	69.0	2.8	36.7	1.2	0.0	4.0	0.4	0.0	0.4
1978	19.5	37.6	69.7	16.0	2.5	0.1	0.4	0.0	1.3	0.0	2.1	0.0
1979	43.1	22.9	92.5	18.7	1.7	1.3	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0
1980	14.1	13.1	144.0	183.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.9
1981	2.5	46.2	460.9	21.5	0.0	0.6	0.3	Sd	0.0	3.6	1.2	18.4
1982	20.1	12.4	0.0	15.8	2.4	0.1	0.0	0.0	1.0	5.7	46.6	384.5
1983	860.6	395.5	644.2	748.8	295.4	85.2	15.6	1.0	1.2	9.4	0.8	54.8
1984	47.7	306.3	315.9	83.6	13.1	0.3	0.0	0.3	0.6	1.4	12.2	2.1
1985	11.3	124.7	98.9	7.9	15.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.7	0.0	5.1
1986	86.0	361.3	14.6	112.6	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	2.8	25.8
1987	138.8	234.4	515.1	381.1	12.7	1.0	0.4	0.0	0.0	4.0	0.5	0.8
1988	36.8	51.1	1.5	24.3	4.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0	1.4	0.4
1989	237.3	297.4	364.1	Sd	0.1	11.3	0.3	0.1	0.0	Sd	0.9	0.0
1990	5.0	49.9	78.6	18.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	8.3	10.8
1991	8.4	94.7	277.2	19.8	7.4	0.9	0.0	0.0	1.1	1.6	0.0	5.0
1992	88.4	169.3	531.0	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

**ESTACION: SICCHEZ**

**04°31'**

**LONGITUDW: 79°46'**

**ALTITUD: 1435 msnm**

**LATITUD S:**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	126.7	318.7	451.3	383.1	111.6	17.3	0.5	5.0	16.7	8.4	18.1	60.8
1974	64.0	192.4	103.1	107.8	39.2	26.1	1.8	6.7	6.6	19.1	13.9	33.5
1975	75.8	288.5	353.3	219.7	121.7	55.3	13.5	36.3	1.4	43.9	3.0	14.0
1976	258.3	313.2	507.2	279.1	79.5	21.5	3.0	11.0	2.7	1.9	1.5	95.2
1977	211.7	273.4	245.5	270.7	51.4	66.9	3.5	0.0	21.0	6.9	7.0	2.6
1978	38.1	127.3	152.7	149.5	50.3	3.3	0.3	0.1	2.5	2.2	2.0	8.9
1979	153.1	158.5	385.9	117.1	25.9	3.3	0.1	9.3	2.7	0.0	0.0	4.9
1980	33.3	104.1	156.5	265.8	53.4	0.0	3.4	0.7	0.6	18.4	26.6	34.1
1981	29.8	245.9	421.8	141.8	17.5	11.1	0.0	4.1	0.0	16.0	13.6	36.5
1982	46.9	70.5	29.9	103.8	23.9	0.0	0.1	0.0	5.7	47.7	116.1	518.6
1983	498.2	330.0	576.3	348.3	241.3	70.6	31.1	1.3	24.0	49.5	53.4	118.3
1984	102.0	527.6	365.2	232.1	55.1	44.6	9.6	2.0	7.9	35.7	20.5	54.3
1985	120.8	46.7	99.8	35.1	42.4	0.8	0.0	17.6	0.8	7.4	1.2	77.5
1986	133.2	237.4	45.8	70.8	38.9	7.9	0.0	2.8	1.7	20.1	31.4	56.3
1987	213.9	160.4	398.6	228.7	26.2	5.3	7.0	4.8	1.1	23.7	25.4	11.4
1988	151.8	240.1	9.4	136.5	46.9	1.9	0.6	0.2	0.2	2.3	17.7	28.4
1989	221.1	314.2	419.8	166.5	41.4	25.7	0.3	0.6	4.2	49.9	3.6	2.6
1990	51.9	104.7	181.2	164.0	45.5	17.2	0.0	0.0	1.0	11.8	45.7	59.6
1991	25.6	240.3	439.3	110.1	102.1	20.0	0.2	0.3	1.7	6.0	4.7	52.0
1992	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	6.0	9.7	9.3	42.6

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

**ESTACION: OLLEROS**

LATITUD S:		04°42'		LONGITUDW:		79°39'		ALTITUD: 1360 msnm				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	79.5	132.2	237.3	227.0	88.6	28.2	8.6	19.0	32.3	16.1	20.8	101.7
1974	78.0	230.1	85.8	111.5	20.6	65.3	22.1	10.9	11.7	24.7	76.1	25.8
1975	44.9	289.1	230.7	185.1	102.4	59.5	26.8	79.6	12.9	92.9	41.2	7.9
1976	192.5	235.9	218.3	117.6	71.7	17.6	0.6	12.1	5.2	0.9	2.2	38.9
1977	153.3	260.5	214.9	176.0	39.0	42.6	0.2	6.4	13.7	5.2	0.5	27.8
1978	30.8	108.6	109.5	75.9	43.8	7.7	13.6	0.8	6.5	4.9	8.4	21.0
1979	96.5	127.4	178.6	185.5	31.4	2.7	3.3	25.0	41.2	0.6	0.0	7.7
1980	132.0	88.4	80.8	102.8	61.9	8.0	0.5	1.8	2.2	40.1	57.5	61.7
1981	37.0	193.9	234.5	111.3	19.3	38.7	3.2	0.0	10.2	54.3	21.4	65.6
1982	87.5	93.0	49.0	131.4	69.5	2.0	5.5	0.0	13.8	117.0	95.9	212.5
1983	257.9	62.0	332.1	165.4	232.8	46.2	3.5	1.2	33.5	103.8	36.2	210.6
1984	76.3	375.4	310.6	173.7	67.5	58.8	45.8	2.3	37.9	95.5	43.2	14.8
1985	59.6	33.7	58.5	24.8	49.0	0.7	0.2	1.0	20.2	21.0	6.8	89.9
1986	139.0	149.6	76.8	219.3	59.1	0.0	0.4	7.5	5.2	18.2	44.9	76.4
1987	70.9	128.9	176.0	151.0	56.2	2.1	39.8	27.4	3.2	16.0	26.4	19.3
1988	121.7	192.2	24.9	204.4	79.0	8.9	3.3	2.0	11.6	22.7	54.0	31.4
1989	213.1	157.5	168.7	123.1	15.9	34.8	0.9	3.2	26.7	88.6	0.0	9.0
1990	56.5	110.0	163.9	156.9	94.0	29.0	1.0	0.0	0.7	26.7	79.5	74.5
1991	30.9	142.1	270.6	84.3	34.9	3.2	2.3	0.0	13.4	10.0	14.5	17.6
1992	35.0	38.8	218.0	460.4	97.3	0.0	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

# ESTACION: MONTERO

LATITUD S: 04°38' LONGITUDW: 79°50' ALTITUD: 1070 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	301.1	222.5	385.9	315.2	Sd	Sd	1.0	3.4	26.6	10.2	16.1	44.5
1974	85.1	151.8	28.7	84.5	64.3	49.4	6.5	6.9	1.5	12.2	9.6	12.5
1975	80.0	158.8	457.9	169.9	91.1	46.5	4.6	38.9	5.3	33.7	4.1	3.6
1976	201.4	283.6	394.7	204.0	118.8	30.3	4.1	4.3	0.7	0.8	7.4	41.0
1977	146.5	347.5	362.4	174.4	68.1	66.9	0.8	0.0	7.1	2.0	0.9	10.9
1978	43.6	111.0	163.4	87.8	38.2	11.6	0.0	1.3	2.9	2.6	0.6	7.2
1979	118.5	132.3	216.7	172.7	43.3	1.0	0.8	8.1	0.0	1.9	0.0	2.4
1980	10.8	35.1	197.8	267.9	62.9	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	31.2	25.4
1981	10.5	268.6	254.1	142.0	19.2	20.9	8.5	2.4	0.0	12.8	10.1	15.2
1982	35.8	39.8	12.1	114.5	63.9	0.0	1.6	0.0	15.0	35.0	69.0	295.1
1983	370.6	207.6	708.8	561.7	407.2	189.0	59.1	1.2	43.2	58.7	14.9	102.9
1984	61.4	477.3	378.0	272.4	61.1	Sd	Sd	Sd	31.7	36.7	10.3	37.7
1985	45.6	73.7	133.7	38.2	59.6	0.0	0.0	16.4	0.4	11.6	0.3	44.3
1986	137.8	119.8	128.4	336.1	34.2	0.0	0.0	2.0	0.0	13.8	10.9	98.9
1987	244.9	202.9	302.2	269.2	20.7	4.7	10.8	18.3	3.6	16.9	13.7	6.6
1988	83.0	154.4	1.6	112.3	52.9	3.3	0.0	0.8	0.0	5.4	15.6	12.6
1989	216.1	266.7	268.4	186.9	20.3	28.7	1.0	6.8	3.7	54.5	1.1	0.0
1990	45.8	108.2	193.4	71.9	68.0	21.5	0.0	0.0	0.0	9.3	33.8	21.2
1991	4.6	148.0	Sd	Sd	Sd	Sd	2.9	0.0	3.7	3.2	3.4	36.8
1992	86.9	135.7	Sd	Sd	139.6	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

### ESTACION: ARRENDAMIENTOS

LATITUD S:		05°50′		LONGITUDW:		79°54′		ALTITUD: 3010 msnm				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	73.8	149.4	86.2	142.9	19.8	10.9	8.1	11.4	13.2	5.9	18.7	61.9
1974	58.0	112.2	78.1	28.3	2.6	16.2	8.5	11.8	11.2	18.0	48.6	26.0
1975	55.5	202.4	138.4	96.0	65.6	47.7	4.0	30.8	5.1	57.8	10.7	4.4
1976	104.3	123.7	144.8	77.2	27.3	13.9	3.9	13.2	9.3	16.0	11.8	23.5
1977	85.7	122.0	116.7	89.2	7.5	30.2	1.4	4.2	13.3	8.4	8.8	14.0
1978	26.8	53.6	118.0	59.0	49.8	6.3	4.6	2.3	4.8	19.9	0.5	10.5
1979	85.5	67.1	192.4	55.9	21.8	8.8	0.7	21.1	5.3	10.3	0.5	3.4
1980	24.6	32.8	73.7	123.8	18.2	1.8	9.4	1.3	0.0	45.0	33.3	40.4
1981	39.8	102.5	154.2	90.8	3.3	3.7	3.4	5.2	0.3	32.1	23.4	18.6
1982	25.1	37.2	17.8	89.8	35.6	1.2	1.2	0.3	14.4	95.5	53.1	152.5
1983	269.8	97.3	172.6	107.0	121.3	15.2	8.6	1.8	1.9	19.4	11.1	33.0
1984	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	7.7	52.0	4.8	30.2
1985	34.5	49.0	47.5	Sd	Sd	0.8	0.0	8.3	0.0	7.5	0.0	5.6
1986	66.8	139.0	76.7	9.1	51.7	0.0	0.5	7.9	4.0	11.4	62.6	22.7
1987	95.9	51.8	74.7	114.5	15.5	0.0	23.2	8.6	0.0	10.6	0.0	1.5
1988	113.8	66.0	27.4	88.4	31.9	0.0	0.0	0.9	17.0	8.4	10.5	24.4
1989	119.8	169.9	118.9	54.2	5.2	0.0	0.0	0.0	Sd	Sd	Sd	Sd
1990	25.4	57.7	18.4	90.6	30.2	5.1	0.0	0.0	0.2	38.2	53.5	7.0
1991	14.9	68.6	214.3	8.4	5.4	1.8	0.0	12.0	2.6	2.7	8.8	4.6
1992	2.4	41.0	88.7	69.3	67.6	22.7	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	17.3

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos



# **ESTACION: NANGAY MATALACAS**

LATITUD S:		04°52´		LONGITUDW:		79°46´		ALTITUD:		2100 msn		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	21.4	182.1	126.5	148.5	13.4	20.6	4.6	10.4	7.6	7.4	9.5	70.4
1974	36.9	141.8	95.0	57.6	0.0	12.2	1.5	3.0	15.4	21.9	47.1	13.5
1975	23.4	253.3	109.0	86.6	71.6	31.8	7.6	31.3	0.8	54.5	5.3	2.6
1976	88.9	86.7	142.0	71.9	16.4	0.0	0.8	10.0	1.3	0.7	7.4	16.6
1977	95.0	120.9	127.5	102.9	8.6	31.1	0.0	0.0	16.7	6.1	3.8	12.9
1978	17.7	95.4	82.3	26.0	45.0	0.0	0.0	0.0	2.0	7.1	1.0	2.2
1979	68.7	56.7	208.7	77.5	13.7	0.0	0.0	3.4	15.2	0.3	0.0	3.0
1980	36.6	43.2	27.0	131.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	45.5	46.0	15.4
1981	27.2	63.3	154.4	70.4	2.5	2.3	5.6	3.0	0.0	29.2	41.7	33.4
1982	40.8	62.5	11.8	52.8	16.3	0.0	0.0	0.0	8.9	32.0	90.1	164.5
1983	189.8	72.4	157.2	81.8	68.4	3.5	17.0	0.0	8.9	46.8	16.3	82.5
1984	27.1	235.0	176.0	78.4	12.7	7.3	3.6	19.8	9.5	91.3	27.4	0.0
1985	58.5	21.9	79.5	3.3	34.8	0.0	0.0	0.3	0.8	18.2	9.0	44.6
1986	85.9	121.4	51.1	97.6	44.7	0.0	0.0	4.6	0.9	6.9	34.5	29.4
1987	86.8	31.1	126.8	122.9	3.7	1.2	3.7	7.5	0.0	12.1	13.7	8.7
1988	71.0	113.7	20.3	91.6	25.9	0.0	2.0	2.2	10.1	9.0	20.3	27.9
1989	168.6	103.8	125.7	34.8	14.3	5.3	0.0	0.0	2.5	49.6	3.0	2.0
1990	0.0	45.3	38.7	86.6	27.0	4.2	3.9	0.0	0.0	21.2	27.3	50.8
1991	5.4	77.7	170.4	27.7	0.5	7.2	0.0	0.0	0.0	3.0	8.9	88.8
1992	22.9	65.6	119.0	141.6	18.8	12.6	0.0	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

**ESTACION: MONTERO**  
**LONGITUD**

<b>LATITUD S:</b>		<b>04°38'</b>		<b>W:</b>		<b>79°50'</b>		<b>ALTITUD: 1070 msnm</b>				
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1973	301.1	222.5	385.9	315.2	Sd	Sd	1.0	3.4	26.6	10.2	16.1	44.5
1974	85.1	151.8	28.7	84.5	64.3	49.4	6.5	6.9	1.5	12.2	9.6	12.5
1975	80.0	158.8	457.9	169.9	91.1	46.5	4.6	38.9	5.3	33.7	4.1	3.6
1976	201.4	283.6	394.7	204.0	118.8	30.3	4.1	4.3	0.7	0.8	7.4	41.0
1977	146.5	347.5	362.4	174.4	68.1	66.9	0.8	0.0	7.1	2.0	0.9	10.9
1978	43.6	111.0	163.4	87.8	38.2	11.6	0.0	1.3	2.9	2.6	0.6	7.2
1979	118.5	132.3	216.7	172.7	43.3	1.0	0.8	8.1	0.0	1.9	0.0	2.4
1980	10.8	35.1	197.8	267.9	62.9	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	31.2	25.4
1981	10.5	268.6	254.1	142.0	19.2	20.9	8.5	2.4	0.0	12.8	10.1	15.2
1982	35.8	39.8	12.1	114.5	63.9	0.0	1.6	0.0	15.0	35.0	69.0	295.1
1983	370.6	207.6	708.8	561.7	407.2	189.0	59.1	1.2	43.2	58.7	14.9	102.9
1984	61.4	477.3	378.0	272.4	61.1	Sd	Sd	Sd	31.7	36.7	10.3	37.7
1985	45.6	73.7	133.7	38.2	59.6	0.0	0.0	16.4	0.4	11.6	0.3	44.3
1986	137.8	119.8	128.4	336.1	34.2	0.0	0.0	2.0	0.0	13.8	10.9	98.9
1987	244.9	202.9	302.2	269.2	20.7	4.7	10.8	18.3	3.6	16.9	13.7	6.6
1988	83.0	154.4	1.6	112.3	52.9	3.3	0.0	0.8	0.0	5.4	15.6	12.6
1989	216.1	266.7	268.4	186.9	20.3	28.7	1.0	6.8	3.7	54.5	1.1	0.0
1990	45.8	108.2	193.4	71.9	68.0	21.5	0.0	0.0	0.0	9.3	33.8	21.2
1991	4.6	148.0	Sd	Sd	Sd	Sd	2.9	0.0	3.7	3.2	3.4	36.8
1992	86.9	135.7	Sd	Sd	139.6	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

# **ESTACION: ARRENDAMIENTOS**

LATITUD S: 05°50´		LONGITUDW: 79°54´						ALTITUD: 3010 msnm				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	73.8	149.4	86.2	142.9	19.8	10.9	8.1	11.4	13.2	5.9	18.7	61.9
1974	58.0	112.2	78.1	28.3	2.6	16.2	8.5	11.8	11.2	18.0	48.6	26.0
1975	55.5	202.4	138.4	96.0	65.6	47.7	4.0	30.8	5.1	57.8	10.7	4.4
1976	104.3	123.7	144.8	77.2	27.3	13.9	3.9	13.2	9.3	16.0	11.8	23.5
1977	85.7	122.0	116.7	89.2	7.5	30.2	1.4	4.2	13.3	8.4	8.8	14.0
1978	26.8	53.6	118.0	59.0	49.8	6.3	4.6	2.3	4.8	19.9	0.5	10.5
1979	85.5	67.1	192.4	55.9	21.8	8.8	0.7	21.1	5.3	10.3	0.5	3.4
1980	24.6	32.8	73.7	123.8	18.2	1.8	9.4	1.3	0.0	45.0	33.3	40.4
1981	39.8	102.5	154.2	90.8	3.3	3.7	3.4	5.2	0.3	32.1	23.4	18.6
1982	25.1	37.2	17.8	89.8	35.6	1.2	1.2	0.3	14.4	95.5	53.1	152.5
1983	269.8	97.3	172.6	107.0	121.3	15.2	8.6	1.8	1.9	19.4	11.1	33.0
1984	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	7.7	52.0	4.8	30.2
1985	34.5	49.0	47.5	Sd	Sd	0.8	0.0	8.3	0.0	7.5	0.0	5.6
1986	66.8	139.0	76.7	9.1	51.7	0.0	0.5	7.9	4.0	11.4	62.6	22.7
1987	95.9	51.8	74.7	114.5	15.5	0.0	23.2	8.6	0.0	10.6	0.0	1.5
1988	113.8	66.0	27.4	88.4	31.9	0.0	0.0	0.9	17.0	8.4	10.5	24.4
1989	119.8	169.9	118.9	54.2	5.2	0.0	0.0	0.0	Sd	Sd	Sd	Sd
1990	25.4	57.7	18.4	90.6	30.2	5.1	0.0	0.0	0.2	38.2	53.5	7.0
1991	14.9	68.6	214.3	8.4	5.4	1.8	0.0	12.0	2.6	2.7	8.8	4.6
1992	2.4	41.0	88.7	69.3	67.6	22.7	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	17.3

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

# **ESTACION: NANGAY MATALACAS**

LATITUD S:		04°52´		LONGITUDW:		79°46´		ALTITUD: 2100 msnm				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	21.4	182.1	126.5	148.5	13.4	20.6	4.6	10.4	7.6	7.4	9.5	70.4
1974	36.9	141.8	95.0	57.6	0.0	12.2	1.5	3.0	15.4	21.9	47.1	13.5
1975	23.4	253.3	109.0	86.6	71.6	31.8	7.6	31.3	0.8	54.5	5.3	2.6
1976	88.9	86.7	142.0	71.9	16.4	0.0	0.8	10.0	1.3	0.7	7.4	16.6
1977	95.0	120.9	127.5	102.9	8.6	31.1	0.0	0.0	16.7	6.1	3.8	12.9
1978	17.7	95.4	82.3	26.0	45.0	0.0	0.0	0.0	2.0	7.1	1.0	2.2
1979	68.7	56.7	208.7	77.5	13.7	0.0	0.0	3.4	15.2	0.3	0.0	3.0
1980	36.6	43.2	27.0	131.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	45.5	46.0	15.4
1981	27.2	63.3	154.4	70.4	2.5	2.3	5.6	3.0	0.0	29.2	41.7	33.4
1982	40.8	62.5	11.8	52.8	16.3	0.0	0.0	0.0	8.9	32.0	90.1	164.5
1983	189.8	72.4	157.2	81.8	68.4	3.5	17.0	0.0	8.9	46.8	16.3	82.5
1984	27.1	235.0	176.0	78.4	12.7	7.3	3.6	19.8	9.5	91.3	27.4	0.0
1985	58.5	21.9	79.5	3.3	34.8	0.0	0.0	0.3	0.8	18.2	9.0	44.6
1986	85.9	121.4	51.1	97.6	44.7	0.0	0.0	4.6	0.9	6.9	34.5	29.4
1987	86.8	31.1	126.8	122.9	3.7	1.2	3.7	7.5	0.0	12.1	13.7	8.7
1988	71.0	113.7	20.3	91.6	25.9	0.0	2.0	2.2	10.1	9.0	20.3	27.9
1989	168.6	103.8	125.7	34.8	14.3	5.3	0.0	0.0	2.5	49.6	3.0	2.0
1990	0.0	45.3	38.7	86.6	27.0	4.2	3.9	0.0	0.0	21.2	27.3	50.8
1991	5.4	77.7	170.4	27.7	0.5	7.2	0.0	0.0	0.0	3.0	8.9	88.8
1992	22.9	65.6	119.0	141.6	18.8	12.6	0.0	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

**ESTACION: ANIA CABUYAL**  
**LONGITUDW**

**LATITUD S: 04°51'**

**: 79°29'**

**ALTITUD: 2450 msn**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	181.2	697.2	144.6	477.0	41.8	40.0	36.6	42.7	45.5	41.2	93.7	322.9
1974	185.4	Sd	312.9	97.4	12.2	30.9	67.3	4.3	31.9	54.6	192.2	122.7
1975	101.5	316.8	103.5	215.1	103.4	203.6	78.2	82.0	7.3	75.2	65.1	35.3
1976	267.0	268.3	251.3	147.3	21.6	41.6	38.1	66.0	14.0	26.1	96.7	121.2
1977	293.4	108.1	218.5	280.2	26.9	48.5	1.2	1.0	22.1	12.7	26.1	102.6
1978	61.4	121.1	Sd	156.4	72.4	49.4	16.2	18.0	30.4	40.8	4.2	53.4
1979	222.3	84.7	144.1	162.3	12.3	0.0	1.0	24.4	14.5	29.8	4.4	33.6
1980	129.3	242.7	88.2	224.9	49.9	0.0	11.4	0.0	4.2	42.8	134.5	104.6
1981	143.8	138.1	262.1	135.1	41.0	13.5	25.0	19.6	3.2	69.0	62.1	156.3
1982	138.6	181.0	105.0	139.4	93.2	0.0	4.0	3.7	32.3	84.3	112.2	292.5
1983	420.4	135.8	307.2	144.3	91.9	7.2	5.9	0.0	18.0	112.8	Sd	Sd
1984	128.4	320.7	319.9	172.0	68.0	69.1	14.8	10.7	61.1	98.9	100.0	89.9
1985	311.5	70.8	102.3	43.4	107.0	7.2	4.9	29.7	3.8	27.8	39.9	155.1
1986	174.4	241.0	72.2	214.6	60.5	0.0	13.2	20.6	33.7	64.4	101.3	136.4
1987	124.2	51.2	250.0	136.8	210.8	12.2	64.2	1.8	0.0	42.5	98.8	48.0
1988	161.5	257.0	100.6	153.1	17.2	6.3	34.0	3.2	23.6	23.8	88.5	204.5
1989	386.3	273.9	218.1	84.4	63.1	39.5	1.2	11.5	20.1	132.0	0.0	41.2
1990	174.5	229.3	110.0	180.4	108.7	15.0	11.7	2.2	1.0	75.0	113.1	114.8
1991	79.7	183.2	Sd	Sd	Sd	39.0	8.9	25.2	5.6	52.9	117.7	89.8
1992	72.8	112.6	160.0	126.1	8.1	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

# ESTACION: LAGUNA SECA

**LATITUD S:** 04°53' **LONGITUDW:** 79°29' **ALTITUD:** 2450 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	163.1	331.1	201.8	337.5	51.4	42.2	26.5	31.2	25.0	41.9	60.0	212.6
1974	156.1	338.9	235.3	108.3	24.2	34.9	59.7	9.9	45.8	87.5	167.4	151.5
1975	84.0	324.2	124.9	293.5	114.4	118.2	129.5	114.2	10.4	147.7	55.6	26.6
1976	167.6	211.1	335.7	177.6	54.4	39.7	30.2	57.0	1.7	Sd	Sd	126.5
1977	485.0	191.3	290.0	192.3	9.4	101.8	1.0	5.5	40.7	44.4	30.4	120.1
1978	55.5	212.3	267.0	175.8	112.9	34.6	26.5	25.2	18.0	49.8	3.2	102.2
1979	254.8	145.3	305.7	99.0	46.4	7.8	0.0	39.7	27.0	36.4	12.6	23.3
1980	164.6	347.7	118.6	256.1	48.4	44.1	10.7	0.0	15.1	43.3	106.5	161.3
1981	139.9	144.8	352.4	110.3	79.6	8.5	6.6	29.8	8.5	66.3	53.5	188.7
1982	175.9	245.2	191.3	180.3	112.6	0.0	17.0	13.3	25.8	134.1	121.8	467.7
1983	318.7	417.6	232.8	414.6	334.7	24.1	0.0	3.7	0.9	138.9	67.3	318.0
1984	200.4	408.4	302.2	295.1	67.4	53.2	60.7	32.6	55.0	156.4	90.0	110.5
1985	Sd	147.0	303.4	205.4	223.8	34.0	2.6	98.8	65.8	136.1	47.1	93.6
1986	396.2	282.6	64.6	220.0	64.8	0.0	35.9	2.5	61.4	97.9	150.3	100.5
1987	178.2	33.8	273.9	34.4	152.4	47.1	138.7	72.8	18.0	69.7	94.4	105.9
1988	203.3	310.9	113.9	210.9	77.5	39.3	59.6	16.9	52.5	174.2	262.8	382.5
1989	457.1	Sd	Sd	310.3	161.1	114.7	80.8	10.2	103.9	266.4	4.2	111.0
1990	292.0	378.8	227.5	526.7	316.5	44.7	86.1	26.2	11.2	Sd	Sd	Sd
1991	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	25.3	0.0	71.7	161.6	60.6
1992	112.1	333.2	238.6	339.8	37.0	50.3	0.0	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

**ESTACION: SAN JUAN DE ALISOS**

**LATITUD S: 04°58' LONGITUDW: 79°32' ALTITUD: 2150 msnm**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	216.9	255.1	181.4	304.5	34.9	37.8	34.5	38.7	21.5	39.0	74.9	262.5
1974	202.1	270.7	189.5	131.0	18.6	37.5	60.3	8.0	28.5	66.3	166.9	180.4
1975	157.9	441.4	291.0	239.0	139.4	159.6	69.2	98.5	10.3	115.8	60.2	25.6
1976	310.3	308.9	400.3	223.5	68.9	62.5	50.2	53.1	23.4	44.0	79.3	122.7
1977	319.2	198.2	243.4	312.4	44.3	61.9	10.8	6.8	57.5	46.8	3.2	82.8
1978	57.5	170.1	185.6	171.5	119.4	38.8	34.6	24.5	8.7	46.5	21.2	58.1
1979	212.9	192.1	383.1	180.3	52.1	3.7	0.3	49.9	21.1	33.8	1.3	20.0
1980	120.2	263.5	140.9	256.2	43.1	8.3	5.2	0.4	3.0	75.4	101.1	125.8
1981	128.5	228.8	317.1	198.0	36.6	16.9	15.5	16.5	6.0	57.0	35.6	189.5
1982	164.1	282.0	93.5	201.2	127.3	4.7	1.1	0.8	22.4	111.3	132.3	438.3
1983	385.2	196.3	366.5	178.5	241.1	23.4	0.0	0.0	3.7	101.7	48.1	294.2
1984	87.9	338.6	351.1	213.7	115.8	1.7	9.5	0.0	37.5	146.3	141.9	95.3
1985	277.6	108.9	63.8	40.3	85.9	0.0	3.4	24.1	22.1	32.1	22.3	162.2
1986	189.1	298.9	119.6	196.1	14.5	0.9	3.6	12.5	22.2	70.8	51.3	208.9
1987	156.1	83.1	198.0	149.1	58.1	5.9	37.8	1.5	4.6	61.3	79.4	34.2
1988	117.5	285.3	102.3	90.2	64.8	Sd	10.9	5.4	19.2	36.3	87.1	117.9
1989	277.2	191.1	126.4	151.2	38.5	43.3	0.0	0.0	10.2	149.9	6.1	52.9
1990	127.7	163.3	175.1	196.1	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	120.3
1991	104.4	143.3	317.3	103.6	8.4	40.8	2.3	9.2	0.0	0.0	74.6	83.2
1992	109.7	96.3	202.8	126.9	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos

# **ESTACION: ESPINDOLA**

LATITUD S:		04°38'		LONGITUDW:		79°30'		ALTITUD: 2300 msnm				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	82.5	261.6	345.4	328.5	98.1	35.6	35.6	24.5	39.7	46.9	54.8	180.3
1974	132.8	339.2	300.4	88.1	8.7	51.6	17.5	10.8	29.0	87.0	177.2	120.5
1975	90.6	399.2	233.5	289.3	141.2	140.3	43.1	47.1	6.9	92.1	97.4	29.7
1976	217.9	246.8	331.9	110.6	30.2	20.2	1.5	27.0	10.9	24.8	83.4	104.6
1977	280.6	176.4	66.9	123.3	70.9	48.8	0.8	7.6	84.9	35.9	7.5	20.1
1978	58.2	152.3	123.8	181.7	160.1	10.0	1.1	7.7	14.1	27.3	19.8	21.5
1979	151.8	99.0	428.0	222.0	57.0	4.5	0.0	72.1	70.2	26.0	3.2	52.7
1980	155.4	257.5	188.2	176.0	28.6	32.0	6.9	5.5	19.0	46.1	136.0	83.5
1981	71.5	148.2	405.1	176.2	33.7	13.9	0.6	6.9	5.0	25.1	50.6	108.4
1982	158.4	208.4	104.2	177.9	99.0	1.1	1.6	0.0	29.9	104.7	110.5	278.7
1983	340.6	198.0	372.0	227.6	53.7	0.0	6.0	2.6	10.1	142.7	87.7	215.9
1984	116.6	236.1	140.9	146.5	55.7	26.4	11.4	22.6	85.2	139.6	71.9	37.3
1985	95.7	16.2	103.9	42.5	63.5	2.9	4.1	13.6	5.0	89.0	6.8	127.5
1986	164.0	89.3	81.1	130.9	43.3	1.6	0.6	0.0	0.0	9.3	0.5	58.1
1987	45.0	37.3	119.9	18.6	43.1	1.6	0.0	0.0	3.3	14.1	63.9	13.0
1988	233.7	320.1	88.3	179.4	74.8	2.2	7.2	5.1	17.8	49.8	108.7	132.1
1989	301.4	234.3	409.6	60.5	3.9	0.0	0.0	5.9	0.0	10.3	4.2	1.5
1990	14.7	188.9	98.9	516.7	205.6	0.0	0.0	0.0	1.5	74.1	0.3	231.8
1991	98.6	Sd	Sd	168.4	272.9	0.0	Sd	Sd	0.0	16.5	15.4	72.2
1992	51.6	134.5	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Fuente y Elaboración: PECHP

Sd: Sin datos



Anexo 2. Data para la determinación de la evapotranspiración

**PROYECTO CHIRA-PIURA**  
**DIVISION DE HIDROMETEOROLOGIA**  
**ESTACION: A Y A B A C A**

LAT.: 04°37'57" LONG.: 79°42'49" ALT.: 2,700 MSNM.

**TEMPERATURA MEDIA MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1973	13.6	13.2			12.4	12.4	12.1		12.6	12.2	12.1	10.8
1974	10.8	10.3	10.5	12.5	12.5	12.2	11.9	12.8	12.2	11.8	12.0	11.6
1975	11.8	11.2	12.3	12.3	12.0	11.8	11.7	12.2	12.4	11.8	11.8	11.0
1976	11.1	11.0	12.0	12.2	12.9	12.7	12.8	13.0	13.3	13.8	12.6	12.5
1977	12.6	12.6	13.0	12.5	12.7	12.4	12.9	12.9	13.1	13.0	12.9	12.8
1978	12.4	13.4	12.4	12.8	12.9	12.6	12.6	13.0	12.9	12.8	12.9	12.4
1979	12.0	12.6	12.4	12.9	13.0	12.9	13.0	13.1	13.1	13.5	13.3	12.9
1980	13.0	12.0	13.1	13.1	13.5	13.6	13.3	13.5	13.6	13.0	12.2	12.3
1981	11.8	12.5	12.7	13.1	13.2	13.0	12.7	13.2	13.5	12.7	12.4	12.5
1982	11.8	12.3	12.4	12.9	12.9	13.6	13.1	13.5	13.2	12.6	13.0	13.0
1983	13.9	13.7	13.9	13.7	13.8	13.6	13.6	13.6	13.2	12.6	13.0	12.2
1984	11.5	12.1	12.4	12.5	12.5	12.5	11.9	12.9	12.4	12.4	11.9	12.4
1985	11.0	12.2	12.5	12.4	12.8	13.2	12.5	12.6	12.9	12.8	12.6	12.1
1986	12.3	11.5	12.1	12.9	13.3	12.4	13.2	13.4	13.6	13.1	13.0	13.0
1987	13.3	14.0	13.4	13.5	13.6	14.5	13.9	13.9	14.1	13.5	13.5	13.7
1988	13.0	13.0	12.7	12.9	13.3	13.0	12.4	13.0	13.5	12.8	12.4	11.9
1989	12.1	12.0	11.5	13.0	12.9	12.8	12.8	13.3	13.1	12.8	13.3	12.5
1990	12.8	12.6	13.2	13.1	13.4	13.6	13.0	13.1	13.8	13.0	13.3	12.8
1991	12.8	13.1	13.0	13.2	13.6	13.9	13.3	12.6	13.7	13.0	13.2	13.1
1992	13.3	13.2	13.8	13.6	13.5	13.9	12.9	13.5	12.9	13.3	12.8	12.7
MAX	13.9	14.0	13.9	13.7	13.8	14.5	13.9	13.9	14.1	13.8	13.5	13.7
MED	12.3	12.4	12.6	12.9	13.0	13.0	12.8	13.1	13.2	12.8	12.7	12.4
MIN	10.8	10.3	10.5	12.2	12.0	11.8	11.7	12.2	12.2	11.8	11.8	10.8

**PROYECTO CHIRA-PIURA**  
**DIVISION DE HIDROMETEOROLOGIA**  
**ESTACION: A Y A B A C A**

LAT.: 04°37'57" LONG.: 79°42'49" ALT.: 2,700 MSNM.

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (HORARIA).**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1973	87	90	89		87	83	78		79	82	85	82
1974	91	96	93	89	84	87	70	72	75	84	87	88
1975	86	95	89	90	88	81	77	78	76	85	82	81
1976	93	94	92	87	80	74	60	68	72	72	81	85
1977	91	92	90	89	80	77	69	69	72	81	73	83
1978	84	87	89	88	79	72	74	61	74	68	79	86
1979	91	90	92	85	84	69	68	71	76	70	65	73
1980	83	92	83	83	80	68	70	64	70	82	84	89
1981	91	92	89	90	83	78	66	70	65	82	79	88
1982	90	90	90	83	85	72	67	63	76	84	87	91
1983	89	87	89	90	87	76	70	68	75	86	84	90
1984	89	92	92	90	86	80	76	71	77	84	73	89
1985	94	84	88	86	81	90	68	70	74	75	71	88
1986	91	93	88	91	84	75	69	73	72	78	79	84
1987	88	83	86	84	79	68	74	73	72	81	81	81
1988	90	92	86	89	85	75	71	62	75	73	88	88
1989	93	93	91	88	80	79	76	70	76	84	74	83
1990	87	92	86	90	81	78	77	78	81	90	87	80
1991	87	89	93	87	84	77	66	65	70	74	80	89
1992	87	90	87	88	86	74	64	67	78	81	83	86
MAX	94	96	93	91	88	90	78	78	81	90	88	91
MED	89	91	89	88	83	77	71	69	74	80	80	85
MIN	83	83	83	83	79	68	60	61	65	68	65	73

**PROYECTO CHIRA-PIURA**  
**DIVISION DE HIDROMETEOROLOGIA**  
**ESTACION: A Y A B A C A**

LAT.: 04°37'57" LONG.: 79°42'49" ALT.: 2,700 MSNM.

**HELIOFANIA MEDIA MENSUAL ( H O R A S ).**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1971	3.1	2.4	1.8	4.0	2.4	0.8	3.1	6.5	4.3	4.4	4.3	5.1
1972	4.9	4.7	2.7	5.0	6.2	7.9	8.1	8.6	7.6	6.3	5.0	6.2
1973	5.2	5.3	3.8	3.8	5.3	6.3	7.2	7.0	6.4	6.4	5.2	3.8
1974	4.4	1.7	3.1	6.0	6.7	5.1	7.7	8.6	5.5	4.9	4.0	4.2
1975	4.4	2.0	4.0	4.4	4.6	5.9	7.3	6.4	5.9	4.8	5.2	6.0
1976	3.1	2.8	3.8	5.3	6.2	7.0	9.9	8.0	7.7	5.9	5.5	5.5
1977	4.4	4.4	5.6	5.1	6.8	7.3	8.8	7.6	7.5	6.6	6.6	5.6
1978	6.0	5.2	4.5	4.1	5.8	8.6	7.5	9.3	5.5	7.4	6.5	4.1
1979	4.4	4.3	3.5	4.4	6.6	8.0	9.5	7.9	7.3	8.3	7.5	6.8
1980	5.2	3.0	5.1	5.8	7.1	8.9	8.8	8.4	8.2	4.9	5.0	5.7
1981	4.4	3.5	3.1	4.8	7.1	7.9	8.2	8.1	8.7	5.8	5.7	4.2
1982	4.0	4.4	4.1	5.4	5.1	8.8	8.9	9.6	6.6	4.8	6.4	3.9
1983	4.2	4.9	3.8	3.3	4.7	8.0	9.0	8.5	6.0	4.4	6.6	3.8
1984	5.7	2.8	3.3	3.8	4.7	5.9	7.1	9.1	6.8	5.1	5.8	5.7
1985	2.9	6.2	5.1	5.2	5.8	9.3	9.3	6.9	7.2	6.5	7.6	4.6
1986	3.6	2.4	4.6	3.5	6.6	9.4	9.8	8.1	7.4	6.0	6.1	5.7
1987	5.2	6.6	4.9	4.7	6.9	10.1	7.2	8.3	7.4	6.8	5.6	6.8
1988	3.0	3.5	4.9	3.8	4.9	8.8	8.4	7.1	6.0	4.8	3.7	4.3
1989	2.9	2.6	1.9	5.4	6.7	5.3	8.2	7.3	6.6	4.9	8.4	6.5
1990	4.6	2.1	4.9	3.0	5.4	7.6	8.7	10.0	8.3	5.5	5.5	5.8
1991	5.8	3.5	2.1	5.9	5.8	8.6	8.7	7.4	7.3	5.9	5.0	3.5
1992	3.7	2.6	4.4	4.0	4.4	8.3	9.2	9.4	5.8	7.0	5.7	5.6
MAX	6.0	6.6	5.6	6.0	7.1	10.1	9.9	10.0	8.7	8.3	8.4	6.8
MED	4.3	3.7	3.9	4.6	5.7	7.4	8.2	8.1	6.8	5.8	5.8	5.2
MIN	2.9	1.7	1.8	3.0	2.4	0.8	3.1	6.4	4.3	4.4	3.7	3.5

**PROYECTO CHIRA-PIURA**  
**DIVISION DE HIDROMETEOROLOGIA**  
**ESTACION: A Y A B A C A**

LAT.: 04°37'57" LONG.: 79°42'49" ALT.: 2,700 MSNM.

**N U B O S I D A D (OCTAVOS).**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1971	8.0	8.0	8.0	7.0	6.0	6.0	4.0	6.0	7.0	7.0	6.0	7.0
1972	7.0	7.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	5.0	6.0	6.0	7.0	6.0
1973	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	5.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0
1974	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0	5.0	4.0	7.0	7.0	7.0	7.0
1975	7.0	8.0	7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0
1976	8.0	8.0	8.0	7.0	7.0	7.0	2.0	5.0	5.0	7.0	6.0	6.0
1977	7.0	8.0	7.0	7.0	5.0	4.0	4.0	5.0	4.0	6.0	7.0	6.0
1978	7.0	7.0	7.0	8.0	6.0	4.0	4.0	3.0	6.0	5.0	6.0	7.0
1979	7.0	7.0	8.0	6.0	5.0	4.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0
1980	7.0	8.0	7.0	6.0	7.0	4.0	4.0	4.0	5.0	7.0	7.0	7.0
1981	7.0	8.0	7.0	7.0	5.0	4.0	3.0	4.0	3.0	6.0	7.0	7.0
1982	7.0	8.0	7.0	6.0	6.0	4.0	4.0	3.0	6.0	7.0	7.0	7.0
1983	7.0	7.0	8.0	8.0	7.0	6.0	4.0	4.0	6.0	7.0	6.0	7.0
1984	7.0	8.0	7.0	7.0	6.0	6.0	5.0	4.0	6.0	7.0	7.0	7.0
1985	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	2.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0	7.0
1986	8.0	8.0	7.0	8.0	6.0	3.0	2.0	4.0	5.0	6.0	6.0	7.0
1987	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	3.0	6.0	4.0	6.0	7.0	7.0	6.0
1988	8.0	8.0	7.0	8.0	7.0	4.0	4.0	5.0	7.0	7.0	7.0	7.0
1989	8.0	8.0	4.0	7.0	5.0	6.0	6.0	4.0	4.0	7.0	5.0	7.0
1990	7.0	7.0	7.0	8.0	6.0	4.0	3.0	3.0	5.0	8.0	7.0	7.0
1991	7.0	8.0	8.0	6.0	6.0	4.0	3.0	3.0	6.0	6.0	6.0	7.0
1992	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	4.0	3.0	3.0	6.0	6.0	6.0	7.0
MAX	8.0	8.0	8.0	8.0	7.0	7.0	6.0	7.0	7.0	8.0	7.0	7.0
MED	7.3	7.6	7.2	7.0	6.1	4.6	4.0	4.3	5.6	6.5	6.5	6.7
MIN	7.0	7.0	4.0	6.0	5.0	2.0	2.0	3.0	3.0	5.0	5.0	6.0

**PROYECTO CHIRA-PIURA**  
**DIVISION DE HIDROMETEOROLOGIA**  
**ESTACION: A Y A B A C A**

LAT.: 04°37'57" LONG.: 79°42'49" ALT.: 2,700 MSNM.

**V I E N T O S (VELOCIDAD MEDIA MENSUAL: M/S).**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1971	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0	2.0	2.0
1972	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	3.0	4.0	2.0	2.0	3.0
1973	4.0	4.0	3.0	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0
1974	4.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	6.0	7.0	5.0	4.0	5.0	5.0
1975	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0
1976	4.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	6.0	5.0	5.0	3.0	4.0	4.0
1977	5.0	4.0	7.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0	4.0	4.0	4.0
1978	5.0	4.0	4.0	3.0	4.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.0	3.0
1979	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	7.0	6.0	2.0	6.0	5.0	6.0
1980	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	6.0	6.0	5.0	6.0	4.0	4.0	3.0
1981	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	6.0	5.0	4.0	4.0	3.0	3.0
1982	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	6.0	6.0	5.0	4.0	4.0	3.0
1983	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	4.0	3.0
1984	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	2.0	4.0
1985	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0
1986	4.0	5.0	5.0	3.0	4.0	5.0	6.0	5.0	6.0	3.0	4.0	3.0
1987	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0	5.0	5.0	6.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1988	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0	5.0	6.0	6.0	4.0	3.0	4.0
1989	3.0	3.0	4.0	2.0	4.0	4.0	6.0	4.0	4.0	5.0	4.0	3.0
1990	3.0	2.0	5.0	3.0	4.0	4.0	6.0	5.0	5.0	3.0	4.0	5.0
1991	4.0	5.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	8.0	5.0	4.0	5.0	4.0
1992	4.0	4.0	3.0	6.0	3.0	6.0	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	3.0
MAX	5.0	5.0	7.0	6.0	4.0	6.0	7.0	8.0	6.0	6.0	5.0	6.0
MED	3.6	3.6	3.7	3.3	3.5	4.3	5.2	5.1	4.6	3.9	3.8	3.6
MIN	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0	2.0	2.0

### Anexo 3: Descarga media mensual aforado (m3/s) Estación Toma Zamba

Fuente y elaboración: JUSHS

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1973	38.30	5.40	21.00	25.00	9.00	40.10	35.40	34.00	28.00	16.00	19.30	3.00
1974	50.10	92.30	92.00	53.00	44.20	40.00	57.20	25.40	17.50	27.50	28.10	66.00
1975	83.00	81.00	89.00	35.00	81.00	54.00	47.00	54.40	33.00	32.00	29.30	2.00
1976	44.00	91.00	29.20	49.00	30.30	15.00	46.50	53.00	26.00	9.10	13.00	25.00
1977	50.40	83.00	96.00	109.00	49.50	52.00	34.40	26.00	18.00	21.20	12.50	24.20
1978	24.00	29.10	62.40	63.30	40.20	43.30	33.50	27.40	21.40	31.20	9.40	17.00
1979	31.20	26.00	110.50	74.00	38.00	32.20	31.40	14.00	11.50	15.00	5.20	17.10
1980	21.00	55.50	70.00	76.40	48.10	43.00	26.20	8.10	8.30	21.00	3.00	8.00
1981	17.00	52.10	58.40	77.10	34.50	33.00	24.00	10.00	7.50	12.00	9.00	31.20
1982	28.20	51.00	32.00	54.00	32.40	17.00	23.30	20.30	19.10	25.00	16.00	81.50
1984	59.00	76.00	6.00	83.30	90.40	58.00	50.00	29.20	19.00	28.00	25.00	28.26
1985	36.50	62.00	53.00	44.50	59.30	48.00	36.00	33.00	18.00	18.00	13.00	24.00
1986	51.00	76.00	65.20	90.00	62.30	21.30	34.50	17.40	17.00	17.00	21.10	40.00
1987	59.40	69.00	61.00	73.00	70.00	29.30	54.20	17.00	13.00	12.00	10.00	22.00
1988	39.10	68.00	61.10	52.20	32.00	16.50	27.30	17.00	14.00	17.40	22.40	24.00
1989	83.00	120.00	124.00	76.30	81.00	52.00	37.00	23.20	21.00	26.00	18.00	13.30
1990	46.00	50.00	74.00	86.00	56.00	66.00	33.00	23.00	15.00	18.20	23.30	34.70
1991	29.00	49.10	101.00	60.40	41.20	30.00	32.00	26.20	16.00	14.30	17.50	19.30
1992	31.00	29.10	43.00	11.00	34.40	37.00	29.00	17.20	20.00	16.40	23.10	30.50
<b>Máximo</b>	83.00	120.00	124.00	109.00	90.40	66.00	57.20	54.40	33.00	32.00	29.30	81.50
<b>Mínimo</b>	17.00	5.40	6.00	11.00	9.00	15.00	23.30	8.10	7.50	9.10	3.00	2.00
<b>Promedio</b>	43.22	61.35	65.73	62.76	49.15	38.30	36.42	25.04	18.07	19.86	16.75	26.90